

EDIVÂNIA MARIA GOURETE DUARTE

CICLAGEM DE NUTRIENTES POR ÁRVORES EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MATA ATLÂNTICA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

D812c
2007

Duarte, Edivânia Maria Gourete, 1971-
Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas
agroflorestais na Mata Atlântica / Edivânia Maria
Gourete Duarte. – Viçosa, MG, 2007.
xv, 115f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Irene Maria Cardoso.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 100-106.

1. Ciclagem de nutrientes - Mata Atlântica. 2. Sistemas
agroflorestais - Mata Atlântica. 3. Solos - Conservação.
4. Café. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.81

EDIVÂNIA MARIA GOURETE DUARTE

**CICLAGEM DE NUTRIENTES POR ÁRVORES EM SISTEMAS
AGROFLORESTAIS NA MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

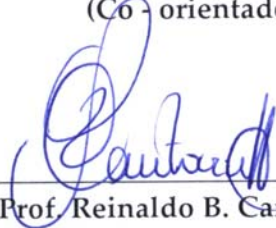
APROVADA: 1º de agosto de 2007.



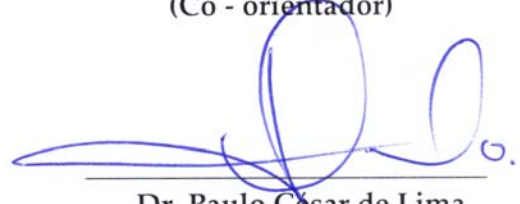
Prof. Eduardo Sá Mendonça
(Co - orientador)



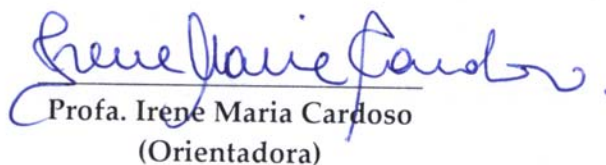
Prof. Raphael B. A. Fernandes
(Co - orientador)



Prof. Reinaldo B. Cantarutti



Dr. Paulo César de Lima



Profa. Irene Maria Cardoso
(Orientadora)

Dedico,

À Carolina e à Sabrina, duas pequeninas
árvores que crescem em meu quintal
agroflorestal, e a todos aqueles que acreditam e
contribuem para uma agricultura mais
sustentável.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida. Ao meu pai e amigo, a ele devo a minha grande paixão pela natureza e pela agricultura sustentável. À minha querida mãe que me ensinou a dar os primeiros passos, minha primeira professora que muito me auxiliou na busca e construção do conhecimento e também exemplo de força e superação. Aos meus irmãos, irmãs, cunhados (as), sobrinhos (as), pela amizade, apoio e incentivo nesta caminhada. Ao João Batista pelo apoio, mesmo distante. Aos meus conselheiros Eduardo e Raphael que me oportunizaram muito aprendizado ao longo deste trabalho. À equipe do Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata – CTA/ZM e às organizações locais dos agricultores de Araponga e Divino, por terem me propiciado esta oportunidade de trabalhar com uma linha de pesquisa tão envolvente e que tanto acredito, em um processo de construção coletiva do conhecimento. Ao Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, e aos seus professores que foram imprescindíveis para a concretização deste trabalho. Aos demais profissionais envolvidos no curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, os quais sempre me foram solícitos. Aos laboratoristas, em especial aqueles que trabalham no Laboratório de Análises Florestais e Laboratório de Matéria Orgânica dos Solos onde passei a maior parte do meu tempo durante os trabalhos. À Coordenação de Aperfeiçoamento aos Profissionais do Ensino Superior (CAPES) e à Fundação de amparo à pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela bolsa concedida e pelo apoio financeiro ao projeto. Aos colegas: Marino, Maria Alice, Davi, Gisele, Rodrigo, Rafael e Lucas, que muito ajudaram-me nos trabalhos de campo e de laboratório. Aos Companheiros (as) da Pós-Graduação, em especial ao Helton, ao Alisson, José e Lívia pelo convívio harmonioso e solidário. Aos companheiros do grupo de discussão sobre agroecologia, pelos intercâmbios de conhecimento, e pelo exercício da união na busca por uma agricultura mais sustentável. Aos agricultores (as): Ison, Ângelo e Dona Lurdes, João dos Santos e Santinha, Romualdo e Avanir, Alexandre e Josiane, e outros agricultores pelo apoio recebido. À Irene, por estar sempre comigo neste trabalho com confiança, apoio e amizade.

BIOGRAFIA

Filha do agricultor familiar Jaime Miranda Duarte, nascida na comunidade de Braúna no município de Araponga-MG, Edivânia Maria Gourete Duarte, iniciou muito cedo sua experiência na atividade agrícola numa pequena propriedade de 07 alqueires, sendo esta atividade desempenhada com muito gosto e encanto junto ao seu pai, seus irmãos e irmãs.

Filha da professora Maria Perpétua Ferreira Duarte, também teve boas oportunidades de se ingressar na vida acadêmica apresentando um bom desempenho nesta atividade, o que rendeu-lhe a responsabilidade de assumir uma classe de alunos de primeira a quarta série, ainda muito jovem, sem mesmo completar o magistério, em função da pouca mão-de-obra especializada na região, principalmente na zona rural.

Em 1991, ingressou no curso de agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e no mundo da pesquisa. Ao terminar o curso em 1996, trabalhou por oito anos na região amazônica com agricultores familiares e ribeirinhos na região do Baixo Amazonas e no Rio Xingu, conhecendo e experimentando um pouco da diversidade cultural que compõe o quadro da agropecuária brasileira.

Após todo esse percurso e, percebendo a grande necessidade de aprofundar os conhecimentos, principalmente na busca do desenvolvimento sustentável, em agosto de 2005, volta ao mundo acadêmico se ingressando no mestrado por meio do Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da UFV, na tentativa de descobrir, compreender e construir novos elementos que pudessem contribuir para a disseminação de práticas de produção agrícola capazes de promover o uso sustentável dos recursos naturais e de forma mais específica, do solo. Em agosto de 2007 concluiu seu mestrado.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1.....	6
PRODUÇÃO E APORTE DE BIOMASSA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA	6
RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
2.1. Área de estudo.....	11
2.2. Produção de biomassa da parte aérea.....	12
2.3. Produção de material senescente.....	13
2.4. Análise dos dados	14
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
3.1. Produção de biomassa da parte aérea.....	15
3.2. Produção de material senescente.....	17
3.3. As espécies e o aporte de material senescente	20
3.3.1. Abacate (<i>Persea americana</i>).....	20
3.3.2. Açoita-cavalo (<i>Luehea grandiflora</i>)	21
3.3.3. Ipê-preto (<i>Zeyheria tuberculosa</i>).....	21
3.3.4. Papagaio (<i>Aegiphila sellowiana</i>)	22
3.3.5. Mulungu (<i>Erythrina verna</i>)	22
3.3.6. Ingá (<i>Inga subnuda</i>).....	23
3.3.7. Fedegoso (<i>Senna macranthera</i>).....	23
3.4. Aporte de folhas no material senescente	23
4. CONCLUSÃO.....	29

CAPÍTULO 2.....	30
APOORTE DE NUTRIENTES EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MATA ATLÂNTICA.....	30
RESUMO	30
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	35
2.1. Área de estudo e espécies estudadas	35
2.2. Teor e conteúdo de nutrientes.....	36
2.3. Fixação de N ₂ atmosférico.....	38
2.4. Análise dos dados	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.1. Teores de nutrientes no material da parte aérea das espécies.....	40
3.2. Aporte de nutrientes pelas espécies arbóreas.....	58
3.3. Fixação Biológica do N ₂ atmosférico	71
4. CONCLUSÃO.....	72
CAPÍTULO 3.....	74
DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA	74
RESUMO	74
1. INTRODUÇÃO	76
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	79
2.1 Caracterização química e bioquímica dos materiais.....	79
2.2 Mineralização de carbono (evolução de C-CO ₂).....	80
2.3 Decomposição e liberação de nutrientes.....	82
2.4 Análise dos dados	83
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
3.1 Composição bioquímica.....	84
3.2 Carbono mineralizável	86
3.3 Decomposição e liberação de nutrientes.....	89
4. CONCLUSÃO.....	97

CONCLUSÃO GERAL.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	100
ANEXO 1.....	107
ANEXO 2.....	109
ANEXO 3.....	114
ANEXO 4.....	115

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DE ESPÉCIES ARBÓREAS SELECIONADAS PARA ESTUDO DE CARACTERÍSTICAS QUE INTERFEREM NA CICLAGEM DE NUTRIENTES DAS ESPÉCIES ARBÓREAS USADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS.....	12
QUADRO 2: ÁREA DA COPA, ALTURA E DIÂMETRO A ALTURA DO PEITO (DAP) DE ESPÉCIES ARBÓREAS, USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS. ENTRE PARÊNTESE É APRESENTADO O ERRO PADRÃO.....	15
QUADRO 3: BIOMASSA AÉREA, INCREMENTO ANUAL DE BIOMASSA AÉREA E CARBONO IMOBILIZADO POR ESPÉCIES ARBÓREAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO.....	16
QUADRO 4: QUANTIDADE DE MATERIAL SENESCENTE DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS, CONSIDERANDO DIFERENTES ÓRGÃOS DA PLANTA DE ACORDO COM A ESTAÇÃO DO ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO DA MÉDIA (MÉDIAS SEGUIDAS PELAS MESMAS LETRAS NÃO DIFEREM ENTRE SI PELO TESTE “PLANNED COMPARISONS” A 10%).	18
QUADRO 5: MATERIAL VERDE DAS ESPÉCIES, INCORPORADO AO SISTEMA POR MEIO DA PODA DE RAMOS BAIXOS DA COPA.	28
QUADRO 6: TEORES DE NITROGÊNIO (N) EM FOLHAS (F), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E FLORES E FRUTOS (FF) NO MATERIAL VEGETAL VERDE E MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA - MG DE ACORDO COM A ESTAÇÃO CLIMÁTICA. ENTRE PARÊNTESE É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N = 4).	41
QUADRO 7: TEORES DE FÓSFORO (P) EM FOLHAS (F), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E FLORES E FRUTOS (FF) NO MATERIAL VEGETAL VERDE E MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA - MG DE ACORDO COM A ESTAÇÃO CLIMÁTICA. ENTRE PARÊNTESE É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N = 4).	44
QUADRO 8: TEORES DE POTÁSSIO (K) EM FOLHAS (F), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E FLORES E FRUTOS (FF) NO MATERIAL VEGETAL VERDE E MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA - MG DE ACORDO COM A ESTAÇÃO CLIMÁTICA. ENTRE PARÊNTESE É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N = 4).	46

QUADRO 9: TEORES DE CÁLCIO (CA) EM FOLHAS (F), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E FLORES E FRUTOS (FF) NO MATERIAL VEGETAL VERDE E NO MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA - MG DE ACORDO COM A ESTAÇÃO CLIMÁTICA. ENTRE PARÊNTESE É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N = 4).	48
QUADRO 10: TEORES DE MAGNÉSIO (MG) EM FOLHAS (F), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E FLORES E FRUTOS (FF) NO MATERIAL VEGETAL VERDE E MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA - MG DE ACORDO COM A ESTAÇÃO CLIMÁTICA. ENTRE PARÊNTESE É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N = 4).	50
QUADRO 11: TEORES DE COBRE (CU) EM FOLHAS (F), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E FLORES E FRUTOS (FF) NO MATERIAL VEGETAL VERDE E NO MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA - MG DE ACORDO COM A ESTAÇÃO CLIMÁTICA. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N = 4).	52
QUADRO 12: TEORES DE ZINCO (ZN) EM FOLHAS (F), GALHOS FINOS (GF), GALHOS GROSSOS (GG) E FLORES E FRUTOS (FF) NO MATERIAL VEGETAL VERDE E NO MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES USADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA - MG DE ACORDO COM A ESTAÇÃO CLIMÁTICA. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N = 4).	54
QUADRO 13: TEORES DE NUTRIENTES EM MATERIAL RETIRADO DO TRONCO DE ESPÉCIES ARBÓREAS USADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS.	57
QUADRO 14: QUANTIDADE DE NUTRIENTES (N, P, K, CA, MG, CU E ZN) APORTADOS AO SOLO VIA MATERIAL SENESCENTE DE ABACATE NO PERÍODO DE UM ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N=4).....	58
QUADRO 15: QUANTIDADE DE NUTRIENTES (N, P, K, CA, MG, CU E ZN) APORTADOS AO SOLO VIA MATERIAL SENESCENTE DE AÇOITA-CAVALO NO PERÍODO DE UM ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N=4).....	59
QUADRO 16: QUANTIDADE DE NUTRIENTES (N, P, K, CA, MG, CU E ZN) APORTADOS AO SOLO VIA MATERIAL SENESCENTE DE MULUNGU NO PERÍODO DE UM ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N=4).....	60
QUADRO 17: QUANTIDADE DE NUTRIENTES (N, P, K, CA, MG, CU E ZN) APORTADOS AO SOLO VIA MATERIAL SENESCENTE DE FEDEGOSO NO PERÍODO DE UM ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N=4).....	61
QUADRO 18: QUANTIDADE DE NUTRIENTES (N, P, K, CA, MG, CU E ZN) APORTADOS AO SOLO VIA MATERIAL SENESCENTE DE INGÁ NO PERÍODO DE UM ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N=4).....	62

QUADRO 19: QUANTIDADE DE NUTRIENTES (N, P, K, CA, MG, CU E ZN) APORTADOS AO SOLO VIA MATERIAL SENESCENTE DE IPÊ-PRETO NO PERÍODO DE UM ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N=4).....	63
QUADRO 20: QUANTIDADE DE NUTRIENTES (N, P, K, CA, MG, CU E ZN) APORTADOS AO SOLO VIA MATERIAL SENESCENTE DE PAPAGAIO NO PERÍODO DE UM ANO. ENTRE PARÊNTESES É APRESENTADO O ERRO PADRÃO (N=4).....	64
QUADRO 21: SIGNIFICÂNCIA DOS VALORES DE F CALCULADOS NAS ANÁLISES DE VARIÂNCIAS PARA OS CONTEÚDOS DE N, P, K, CA E MG, CU E ZN APORTADOS NO MATERIAL SENESCENTE DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS NO PERÍODO DE UM ANO.....	65
QUADRO 22: TEOR DE NUTRIENTES DE PARTES COMESTÍVEIS (POLPA) E CASCA DE FRUTOS DE ABACATE POR KG DE AMOSTRA <i>IN NATURA</i> (GODIM ET AL., 2005)..	67
QUADRO 23: QUANTIDADES DE NUTRIENTES FORNECIDOS EM MATERIAL VERDE DE ESPÉCIES ARBÓREAS USADAS EM SAFs.....	70
QUADRO 24: INCREMENTO ANUAL DE BIOMASSA, ABUNDÂNCIA NATURAL DE ¹⁵ N ($\Delta^{15}\text{N}$), TEORES MÉDIOS DE N-TOTAL E FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM ESPÉCIES ARBÓREAS LEGUMINOSAS, USADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS COM CAFÉ NA ZONA DA MATA MINEIRA.	71
QUADRO 25: CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E CAPACIDADE DE CAMPO DO SOLO UTILIZADO PARA INCUBAÇÃO DE MATERIAL VEGETAL.	81
QUADRO 26: TEORES DE LIGNINA (LG), HEMICELULOSE (HC), CELULOSE (CL), POLIFENOL (PP), C, N, E P E SUAS INTER-RELAÇÕES EM FOLHAS, GALHOS E FRUTOS DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS.....	85
QUADRO 27: COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO (R) ENTRE O C-CO ₂ EVOLUÍDO DE MATERIAL FOLIAR E OS TEORES DE COMPONENTES QUÍMICOS E FÍSICOS E PRINCIPAIS INTER-RELAÇÕES ENTRE ESSES COMPONENTES PRESENTES, DETERMINADOS PARA ESPÉCIES ARBÓREAS USADAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS AO LONGO DE 888 HORAS DE INCUBAÇÃO.....	88
QUADRO 28: PARÂMETROS ESTIMADOS DA EQUAÇÃO $X = X_0 e^{-kt}$ AJUSTADA AOS VALORES DE MS, N, P, K, CA E MG E RESPECTIVOS TEMPOS TEMPO DE MEIA VIDA ($T_{1/2} = \text{LN}(2)/k$) PARA FOLHAS DE MULUNGU, FEDEGOSO E INGÁ INCUBADAS NA SUPERFÍCIE DO SOLO DURANTE 150 DIAS E R ² DAS EQUAÇÕES.	94

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MUNICÍPIOS DA ZONA DA MATA MINEIRA ONDE REALIZOU-SE EXPERIMENTAÇÃO PARTICIPATIVA COM SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	11
FIGURA 2: TEMPERATURA MÉDIA E PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA DE VIÇOSA NO PERÍODO DE OUTUBRO DE 2005 A SETEMBRO DE 2006.....	14
FIGURA 3: APORTE MENSAL DE FOLHAS NO MATERIAL SENESCENTE DE ÁRVORES UTILIZADAS EM SAFs; A) ABACATE, AÇOITA-CAVALO E IPÊ-PRETO; B) MULUNGU E PAPAGAIO C) FEDEGOSO E INGÁ.	24
FIGURA 4: MÉDIA DA PRODUÇÃO DE MATERIAL SENESCENTE TOTAL E DE FOLHAS SENESCENTES (PARA SETE ESPÉCIES ARBÓREAS) NO PERÍODO DE NOVEMBRO DE 2005 A OUTUBRO DE 2006.	26
FIGURA 5: ABSORÇÃO DE N, P E K PELO CAFEIEIRO EM FUNÇÃO DA ÉPOCA DO ANO (ADAPTADO DE CARVAJAL, 1984).....	69
FIGURA 6: EVOLUÇÃO DE C-CO ₂ A PARTIR DE MATERIAL FOLIAR DE ESPÉCIES ARBÓREAS, UTILIZADAS EM SAFs NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS, AO LONGO DE 888 HORAS DE INCUBAÇÃO.	87
FIGURA 7: MATÉRIA SECA REMANESCENTE DAS LEGUMINOSAS ARBÓREAS UTILIZADAS NOS SAFs AO LONGO DE 150 DIAS DE INCUBAÇÃO.....	90
FIGURA 8: N REMANESCENTE EM FOLHAS DAS LEGUMINOSAS ARBÓREAS AO LONGO DE 150 DIAS DE INCUBAÇÃO.....	91
FIGURA 9: P REMANESCENTE EM FOLHAS DAS LEGUMINOSAS ARBÓREAS AO LONGO DE 150 DIAS DE INCUBAÇÃO.....	91
FIGURA 10: K REMANESCENTE EM FOLHAS DAS LEGUMINOSAS ARBÓREAS AO LONGO DE 150 DIAS DE INCUBAÇÃO.....	92
FIGURA 11: CA REMANESCENTE EM FOLHAS DAS LEGUMINOSAS ARBÓREAS AO LONGO DE 150 DIAS DE INCUBAÇÃO.	92
FIGURA 12: MG REMANESCENTE EM FOLHAS DAS LEGUMINOSAS ARBÓREAS AO LONGO DE 150 DIAS DE INCUBAÇÃO.	93

RESUMO

DUARTE, Edivânia Maria Gourete, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2007. **Ciclagem de nutrientes por árvores em sistemas agroflorestais na Mata Atlântica.** Orientadora: Irene Maria Cardoso. Co-orientadores: Eduardo de Sá Mendonça e Rafael Bragança Alves Fernandes.

Os sistemas agroflorestais são efetivos em melhorar e conservar a qualidade do solo. As árvores presentes nestes sistemas absorvem nutrientes de camadas profundas do solo e aportam continuamente material orgânico, gerando impactos à superfície e abaixo da superfície do solo. O objetivo deste trabalho foi estudar características envolvidas na ciclagem de nutrientes de espécies arbóreas, visando contribuir para a formulação de estratégias de manejo de sistemas agroflorestais. As espécies selecionadas para o estudo foram o ipê-preto (*Zeyheria tuberculosa*), o açoita-cavalo (*Luehea grandiflora*), o mulungu (*Erythrina verna*), o fedegoso (*Senna macranthera*), o ingá (*Ingá subnuda*), o papagaio (*Aegiphila sellowiana*) e o abacate (*Persea americana*). A produção de biomassa aérea, o aporte de material senescente das espécies, os teores e conteúdos de nutrientes na parte aérea, foram avaliados no período de novembro/2005 a outubro/2006. Também avaliou-se a taxa de decomposição e de liberação de nutrientes dos resíduos e os teores de componentes químicos e bioquímicos que interferem na decomposição e liberação de nutrientes destes materiais. As maiores produções de biomassa da parte aérea das espécies (kg ano⁻¹ de matéria seca por árvore, MS) foram observada para o mulungu (135,4), fedegoso (120,4), açoita-cavalo (99,0), abacate (81,7), e ingá (39,3). Quanto ao material senescente, os maiores aportes (kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS) foram observados para o fedegoso (6.086,9), ingá (4.331,2), açoita-cavalo (2.397,7) e abacate (2.004,5).

Algumas espécies apresentaram realocação de nutrientes sendo esta maior para P (abacate e fedegoso), N (papagaio e mulungu) e K (papagaio, fedegoso e abacate) chegando a valores de 73% para a realocação de P em abacate. As espécies que aportaram o maior conteúdo de nutrientes por meio do material senescente foram o fedegoso, o ingá, o açoita-cavalo e o abacate. Para o conjunto das espécies o aporte de nutrientes via material senescente não variou significativamente entre as estações, mas variou segundo os órgãos das plantas, sendo as folhas, o órgão da planta que mais aportou nutrientes. Entretanto, o aporte de nutrientes de cada espécie variou entre as estações e órgãos da planta. A taxa de decomposição medida pela evolução de C-CO₂ foi maior para o fedegoso, o mulungu, o ipê-preto e o papagaio e menores para o abacate, o ingá e o açoita-cavalo. Lignina/N e lignina + polifenol/N, foram as relações que melhores correlacionaram com a taxa de decomposição dos materiais das diferentes espécies. Entre as leguminosas, o mulungu e fedegoso tiveram a maior taxa de decomposição, medida utilizando “litterbag”, e ingá a menor. As maiores porcentagens de fixação biológica de nitrogênio foram verificadas para o mulungu (22,6 %) e ingá (20,6%). Os nutrientes mais rapidamente disponibilizados do resíduo das espécies leguminosas foi o K. Os mais lentos foram o Mg e o Ca. O material aportado pelas espécies possuem características, e também, dinâmicas de decomposição e liberação de nutrientes diferentes. O entendimento destas características e destes processos podem contribuir para desenhar sistemas agroecológicos familiares conciliando a produtividade e a conservação do solo e da diversidade. Quando usadas de forma diversificada, essas espécies podem contribuir para uma ciclagem de nutrientes constante e equilibrada nestes sistemas. Portanto a diversificação dos sistemas agroflorestais permite a melhor utilização do potencial em ciclar nutrientes das árvores nativas da Mata Atlântica.

ABSTRACT

DUARTE, Edivânia Maria Gourete, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2007. **Nutrient cycling by tree in agroforestry systems in Atlantic Forest.** Adviser: Irene Maria Cardoso. Co-advisers: Eduardo de Sá Mendonça and Rafael Bragança Alves Fernandes.

Agroforestry systems are effective in improving and conserving soil quality. The trees in these systems absorb nutrients from deep soil layers and continually contribute to the soil top layer with litterfall, generating impacts above and below-ground. Our objective was to study the characteristics involved in the nutrient cycling by three species used in agroforestry systems, seeking to contribute to better design and management of the systems. The species selected for the study were ipê-preto (*Zeyheria tuberculosa*), açoita-cavalo (*Luehea grandiflora*), mulungu (*Erythrina verna*), fedegoso (*Senna macranthera*), ingá (*Inga subnuda*), papagaio (*Aegiphila sellowiana*) and avocado (*Persea americana*). The increase in tree biomass, the contribution of litterfall and the contents of nutrients in the aerial tree parts were measured from November 2005 to October 2006. The decomposition rate and release of nutrients of the residues, the contents of chemical and biochemical components of these materials were evaluated. Increases of biomass (kg year⁻¹ of dry matter per tree, DM) were larger for mulungu (135,4), fedegoso (120,4), açoita-cavalo (99,0), avocado (81,7) and ingá (39,3). The contributions (kg ha⁻¹ year⁻¹ of DM) of litter fall were larger for fedegoso (6.086,9), inga (4.331,2), açoita-cavalo (2.397,7) and avocado (2.004,5). The reallocation of nutrients in the green material before the fall of senescent material was larger for N (papagaio and mulungu), P (avocado and fedegoso) and K (papagaio, fedegoso and avocado), reaching values

up to 73% for the reallocation of P in avocado. Fedegoso, ingá, açoita-cavalo along with abacate produced litterfall with the largest nutrient content. In general, leaves contained the largest amount of nutrients and there was no difference among seasons when the material of all species was pooled. However, the nutrient contents of each species varied among seasons and plant parts. The decomposition rate, measured using the production of C-CO₂, was larger for fedegoso, mulungu, ipê-preto and papagaio than for the other species. Lignin/N and lignin + polifenol/N was correlated to the decomposition rate of the materials of the different species. Among the Leguminosae species, mulungu and fedegoso had the highest decomposition rate (measured with litter bags) and ingá the lowest. The largest amount of nitrogen fixation was found for mulungu (22,6%) and ingá (20,6%). Potassium was released quicker and magnesium and calcium slower than other nutrients. The characteristics of the litterfall and their decomposition dynamics were different for the different species. Understanding of these characteristics and processes can contribute to a better design of family agroecological systems that combine productivity and soil and biodiversity conservation. When used in a diversified manner, tree species can contribute to a balanced and constant nutrient cycling. Therefore, diversification of agroforestry systems allows better use of the native trees of the Atlantic Rainforest.

INTRODUÇÃO GERAL

A grande biodiversidade existente nos trópicos nem sempre é utilizada para potencializar os serviços ambientais a ela associados. O consórcio de árvores nativas com as culturas agrícolas, por exemplo, pode permitir a utilização dessas árvores para produzir biomassa e ciclar nutrientes. A não utilização de árvores nos sistemas agrícolas também contribui com a degradação ambiental, impedindo a migração de animais entre os pequenos e esparsos fragmentos remanescentes de floresta nativa, frequentemente observado no bioma Mata Atlântica. Este bioma é um dos cinco *hotspots* de biodiversidade do mundo (MYERS et al., 2000). Nele, a matriz agrícola com a utilização de café (*Coffea arabica*) a pleno sol e pastagens abertas, não contribui para a preservação dos inúmeros fragmentos ainda existentes na Mata Atlântica brasileira (VANDERMEER; PERFECTO, 2007).

Os solos neste bioma são, em geral, ácidos e com baixa fertilidade natural. A manutenção de sua qualidade está na dependência do aporte de matéria orgânica e da ciclagem dos nutrientes.

O aporte contínuo de material senescente da parte aérea das árvores pode devolver ao solo grande quantidade de material orgânico, representando nas florestas tropicais, a forma mais significativa de transferência de nutrientes à superfície do solo (GOLLEY, 1978). O aporte de material orgânico, se associado ao menor revolvimento do solo, contribui para a melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (BAYER, 2004). Em sistemas agroflorestais (SAFs) o aporte constante de material senescente das árvores promove essa melhoria.

Entretanto, com a retirada da floresta e o manejo intensivo e inadequado dos solos, reduz-se a qualidade destes, diminuindo em conseqüência, a produtividade das culturas e a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Na Zona da Mata mineira, esta situação é agravada, pois muitas vezes, a ocupação e uso do solo ocorre em áreas de preservação permanente, em função do relevo (topos de morros ou áreas com inclinação elevada) e da extensa rede hídrica, com inúmeros corpos d'água (FREITAS et al., 2004), expondo essas áreas à intensos processos erosivos.

Com o objetivo de levantar os problemas e as potencialidades da agricultura na região, em 1993, o Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Araponga, o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM)¹ em parceria com a Universidade Federal de Viçosa (UFV) realizou em Araponga, um Diagnóstico Rural Participativo (DRP) onde um dos principais problemas identificados para o desenvolvimento da agricultura na região foi a grande ocorrência de erosão, levando ao “enfraquecimento” do solo cultivado. Diante da constatação, uma comissão foi formada pelos parceiros objetivando discutir o problema e propor soluções para o manejo e conservação dos solos da região.

Tendo como base o conhecimento local dos agricultores e os princípios da agroecologia. A comissão apontou os SAFs como uma das alternativas de uso do solo. Os SAFs foram implantados na região da Zona da Mata em 1994/1995 (37 SAFs com café e 02 SAFs com pastagens) em 25 comunidades e 11 municípios, tendo em vista o histórico natural das terras, cuja cobertura vegetal original era de floresta estacional decidual e semidecidual e a cultura do café (*Coffea arabica*), que é a principal fonte de renda dos agricultores (CARDOSO et al., 2001) e que tem sua origem em matas semidecíduas da Etiópia, possibilitando o cultivo sombreado (MATSUMOTO, 2004).

Em 2005 as experiências com SAFs na Zona da Mata foram sistematizadas (SOUZA, 2006). A sistematização apontou especificidades locais na condução das experiências. Uma delas foi a definição de critérios para seleção de espécies com

¹ Organização não governamental que assessora os agricultores familiares da região

base em características que interferiam na sua compatibilidade com o café, como ter um sistema radicular profundo, boa produção de biomassa, e outras características como a diversificação da produção e o caráter decíduo das espécies. A diversificação da produção orientou para a introdução de espécies frutíferas no sistema, como a *Persea americana* (abacate). A preferência dos agricultores pelas espécies decíduas ou semidecíduas, foi em função da redução da mão-de-obra necessária para a poda, para permitir maior entrada de luz no sistema (SOUZA, 2006). Para o cafeeiro uma maior entrada de luz no sistema faz-se necessário no período em que se formam as gemas foliares que vai de setembro a março e se tem mais de doze horas de luz solar (CAMARGO; CAMARGO, 2001) e principalmente no período da indução floral que ocorre de abril a junho (MATSUMOTO, 2004). Esta fase do desenvolvimento do cafeeiro é a mais influenciada pela sombra, durante a qual o excesso de sombra pode conduzir a menor formação de nós produtivos e de flores por nó (CASTILLO; LOPEZ, 1996).

As espécies arbóreas *Persea americana* (abacate), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), *Inga subnuda* (ingá), *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto), *Senna macranthera* (fedegoso), *Erythrina verna* (mulungu) e *Aegiphila sellowiana* (papagaio) foram apontadas pelos agricultores experimentadores de SAFs como algumas das mais compatíveis com o café (SOUZA, 2006). A exceção do abacate, as demais são nativas da Mata Atlântica demonstrando a prioridade para a utilização de espécies nativas nestes SAFs sendo encontradas de 11 a 35 espécies ha⁻¹ de leguminosas arbóreas (FERNANDES, 2007) e em média 100 árvores ha⁻¹ (SOUZA, 2006). Algumas destas espécies nunca haviam sido utilizadas em consórcios com o café. Para a melhor utilização dessas espécies associadas à cultura do café, identificou-se como necessário o estudo das características das árvores e processos envolvidos na ciclagem e disponibilização de nutrientes, possibilitando uma melhor avaliação da potencialidade dessas árvores em melhorar e manter a fertilidade dos solos (CARDOSO et al., 2001; SOUZA, 2006).

As espécies nativas são capazes de desenvolver mecanismos eficientes e estratégias diferentes para conviver com altos teores de alumínio trocável e com baixos teores de nutrientes disponíveis no solo.

Dentre estas estratégias, KANMEGNE et al. (1999) e RADERSMA (2002) citam três consideradas pelos autores como principais:

a) menor exigência de nutrientes – via diminuição do crescimento; b) maior aquisição de nutrientes – via aumento radicular e maior relação raiz:folha, interação com microrganismos tais como micorrizas e rizóbios, aumento de exsudados radiculares etc.; c) melhor utilização de nutrientes - via aumento da redistribuição interna, aumento da vida útil das folhas.

Para os SAFs da Zona da Mata mineira faz-se necessário a identificação de espécies locais com tais estratégias. Segundo SPRENT (2001) o ingá e o mulungu são espécies que apresentam nodulação, sabe-se também que em estudos realizados por ZANGARO (2003), o fedegoso e o papagaio apresentaram altas taxas de colonização por fungos micorrízicos arbusculares (MVA) tanto em casa de vegetação (86,6% para o fedegoso e 77,8% para o papagaio) quanto em campo (54,2% para o fedegoso e 57,2% para o papagaio) enquanto que o ipê-preto não apresentou colonização.

Além do potencial em melhorar a ciclagem de nutrientes, os SAFs fornecem outros serviços, como por exemplo eles podem contribuir para fixar o homem no campo, devido a maior produtividade, a demanda de trabalho constante, a diversidade de produção e alternância de fontes de renda ao longo do ano, que se bem compreendidas e conduzidas, podem resultar em estabilidade econômica, reduzindo riscos e incertezas de mercado, permitindo uma melhoria das condições de vida. Os SAFs também favorece o fluxo gênico² entre os fragmentos de florestas remanescentes contribuindo para sua recomposição e preservação (VANDERMEER; PERFECTO, 2007). Ao mesmo tempo, contribuem para a estabilidade e sustentabilidade dos agroecossistemas, graças à diversidade biológica promovida pela presença e interação de diferentes espécies vegetais e/ou animais de usos múltiplos (SANCHEZ, 1995). Para as árvores usadas nestes SAFs, alguns usos citados pelos agricultores foram o fornecimento de alimento (para a família, animais domésticos e silvestres, inclusive abelhas), remédios, lenha, e

² Refere-se principalmente ao deslocamento da fauna de um fragmento de mata até outro fragmento, entretanto, o fluxo gênico entre fragmentos pode ser também da flora e de microrganismos.

principalmente usos associados à redução da erosão e melhoria da qualidade dos solos sob SAFs (FERNANDES, 2007), refletindo em maior produtividade das lavouras.

Dessa forma, a hipótese geral deste trabalho foi de que, as espécies arbóreas utilizadas nos SAFs pelos agricultores da Zona da Mata apresentam características distintas, portanto contribuindo diferentemente para a ciclagem de nutrientes e melhoria dos solos em SAFs.

Este trabalho teve por objetivo estudar características arbóreas que interferem na ciclagem de nutrientes realizadas por espécies consideradas compatíveis com a cultura do cafeeiro. Especificamente, objetivou-se quantificar a produção e aporte de biomassa das espécies, a concentração de nutrientes no material verde (material fresco) e no material senescente da parte aérea das árvores, a taxa de decomposição e de liberação dos nutrientes de resíduos da parte aérea e a fixação biológica de nitrogênio das espécies leguminosas.

Os dados e informações sobre estas espécies visam contribuir para estratégias de manejo destes SAFs que potencializem a ciclagem de nutrientes.

CAPÍTULO 1

PRODUÇÃO E APORTE DE BIOMASSA EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA

RESUMO

O aporte de material vegetal em ecossistemas terrestres com a formação da camada de serapilheira representa um fator de proteção e melhoria das características do solo. Em ambientes de florestais tropicais o aporte contínuo de material senescente da parte aérea das árvores representa a forma mais significativa de transferência de nutrientes à superfície do solo. Objetivou-se neste estudo quantificar a produção de biomassa, o aporte de material senescente de sete espécies arbóreas usadas em sistemas agroflorestais e identificar a contribuição de diferentes órgãos da planta no material senescente ao longo de um ano. As espécies estudadas de novembro/2005 a outubro/2006 foram *Persea americana* (abacate), *Senna macranthera* (fedegoso), *Aegiphila sellowiana* (papagaio), *Erythrina verna* (mulungu), *Inga subnuda* (ingá), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo) e *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto). A produção de biomassa aérea foi obtida por meio de uma equação alométrica, utilizando o diâmetro à altura do peito (DAP) das árvores no início e no final do estudo. Para o aporte de material senescente utilizou-se coletores instalados sob a copa das espécies. As maiores produções de biomassa da parte aérea das espécies (kg ano^{-1} de MS por árvore) foram verificadas para o mulungu (153,4), fedegoso (120,4), açoita-cavalo (99,0), abacate (81,7) e ingá (39,3). Os maiores aportes de material senescente ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de MS) foram observados

para o fedegoso (6.086,9), ingá (4.331,2), açoita-cavalo (2.397,7) e abacate (2.004,5). A média de aporte mensal de material senescente do conjunto das espécies apresentou-se máxima no mês de junho (363,2) e outubro (380,9). O menor aporte ocorreu em maio (72,2). As folhas predominaram no material da maioria das espécies, exceto para o abacate e o fedegoso, no qual predominaram as estruturas reprodutivas. O uso de diferentes espécies arbóreas nos sistemas agroflorestais permitiu o aporte contínuo de material vegetal no sistema ao longo de todo o ano, o que favorece a cobertura permanente do solo.

PALAVRAS-CHAVE: material senescente, biomassa aérea, ciclagem de nutrientes, sistemas agroflorestais, Mata Atlântica.

1. INTRODUÇÃO

A ocupação e uso do solo por pequenos agricultores na Zona da Mata mineira muitas vezes ocorrem em áreas de preservação permanente, em função do relevo muito movimentado da região e da extensa rede hídrica, com inúmeras nascentes e corpos d'água (FREITAS et al., 2004). Esse tipo de ocupação e manejo dos solos, em terrenos de alta declividade, aumentou significativamente a degradação das terras na região.

A agricultura familiar de subsistência nesta região é predominante e tem importância vital, principalmente, no que se refere à produção de alimentos (FERRARI, 1996). Em torno de 18 % da população da região ainda permanece no meio rural (IBGE, 2000).

Em 1993, um diagnóstico feito pelo Sindicato dos Trabalhadores Rurais de Araponga, juntamente com o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata e o Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa apontou como principal problema da agricultura na região, a baixa qualidade dos solos com redução gradativa da produtividade (CARDOSO et al., 2001).

Uma alternativa de sistemas de produção visando a recuperação e manutenção da fertilidade do solo, proposta pelo grupo, foi o uso de sistemas agroflorestais (SAFs), sendo então implantadas nos dois anos subsequentes, 37 experiências de SAFs com café (*Coffea arabica*) e 2 de SAFs com pastagens compreendendo 25 comunidades localizadas em 11 municípios da região (CARDOSO et al., 2001). Os SAFs são definidos como uma forma de cultivo múltiplo, no qual pelo menos duas espécies de plantas interagem biologicamente e pelo menos uma é arbórea e outra é manejada para produção agrícola ou pecuária. (SOMARRIBA, 1992).

Em 2006, essas experiências foram sistematizadas buscando levantar as especificidades locais que influenciaram no manejo desses SAFs. Uma especificidade foi a seleção de espécies arbóreas com base em características das árvores que influenciavam na sua compatibilidade com o café. As características apontadas foram: A diversificação da produção, o sistema radicular profundo, a

boa produção de biomassa e o caráter decíduo das espécies. Este último critério influenciava na quantidade da mão-de-obra necessária ao manejo da sombra nos SAFs. As espécies arbóreas *Persea americana* (abacate), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), *Inga subnuda* (ingá), *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto), *Senna macranthera* (fedegoso), *Erythrina verna* (mulungu), *Aegiphila sellowiana* (papagaio) foram apontadas como algumas das espécies mais compatíveis com o café. A sistematização indicou também a necessidade de entender os processos envolvidos na ciclagem e disponibilização de nutrientes em quantidades e momentos adequados, para suprir a demanda da cultura do café, a partir das diferentes espécies arbóreas (SOUZA, 2006).

À exceção do abacate que é uma espécie exótica, mas muito bem adaptada às condições tropicais, as demais espécies apontadas são espécies nativas e heliófitas, pioneiras (açoita-cavalo, fedegoso, mulungu e papagaio) ou secundárias iniciais (ingá e ipê-preto).

As espécies açoita-cavalo, fedegoso, mulungu, e papagaio adaptam-se facilmente aos solos secos e pobres e com baixos teores de nutrientes disponíveis, sendo portanto, indicadas para reflorestamentos heterogêneos e recomposição de áreas degradadas (LORENZI, 1992). Estas espécies apresentam características decíduas (mulungu, papagaio) ou semidecíduas (açoita-cavalo, ingá, fedegoso, ipê-preto e abacate), aportando anualmente, quantidades consideráveis de serapilheira aos solos sob SAFs. O abacate também contribui para a produção de serapilheira, pois suas folhas são renovadas a cada dois anos, sendo esta renovação mais acentuada no período do florescimento da espécie (CASTRO, 2003).

As espécies arbóreas nativas dos trópicos podem desenvolver mecanismos eficientes para lidar com altos teores de alumínio trocável e com baixos teores de nutrientes disponíveis no solo (KANMENGE et al., 1999; RADERSMA, 2002) principalmente N, e P, ambos, deficientes nos agroecossistemas tropicais. Tais espécies podem ser boas opções para serem utilizadas em SAFs, sendo estes sistemas considerados efetivos em melhorar e conservar os solos (YOUNG, 1997).

Nas florestas tropicais o aporte de material senescente das árvores representa a forma mais significativa de transferência dos nutrientes à superfície do

solo (GOLLEY, 1978). Em ecossistemas florestais diversos como os SAFs, o aporte de material senescente da parte aérea das árvores é contínuo e também diverso, ciclando nutrientes em proporções mais equilibradas e conferindo aos solos uma capa protetora de material orgânico.

O aporte de material orgânico ao solo associado ao menor revolvimento deste, contribui para uma maior agregação, maior resistência à erosão, maior infiltração e armazenamento de água, maior retenção de nutrientes, maior atividade microbiana (BAYER, 2004) e complexação de elementos tóxicos como o alumínio trocável.

Nos SAFs, os benefícios advindos das árvores podem ser potencializados com a adequada escolha da espécie arbórea a ser inserida no sistema e do manejo a ser realizado. Em muitas regiões, prioriza-se o uso de espécies leguminosas e utiliza-se uma alta densidade de árvores que são podadas constantemente para fornecer material orgânico ao solo. Entretanto os agricultores da região da Zona da Mata raramente realizam a poda drástica das árvores, em geral retiram os galhos mais baixos da copa das árvores, favorecendo uma maior entrada de luz e ar para o cafeeiro e ao mesmo tempo aportando material vegetal ao solo. Normalmente esta poda é realizada no final do inverno ou no início da primavera.

Uma outra particularidade é relativa ao SAF que tem como principal espécie arbórea o abacate. Embora os frutos da espécie possuam valor comercial, a maior parte dos frutos produzidos neste SAF permanece no local como material orgânico ou alimento para a fauna silvestre. Os frutos de ingá, fedegoso, mulungu e papagaio, também são importantes para a alimentação da fauna (LORENZI, 1992).

A hipótese deste trabalho foi de que as espécies arbóreas utilizadas em SAFs pelos agricultores da Zona da Mata produzem biomassa e aportam material senescente em quantidades e tempos diferentes interferindo na ciclagem de nutrientes nestes sistemas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a produção de biomassa área e o aporte de material senescente proveniente das diferentes espécies árvores usadas em SAFs e a contribuição dos diferentes órgãos da planta (folha, galhos finos, galhos grossos e flores) neste material no período de um ano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Este estudo foi conduzido na Zona da Mata, sudeste de Minas Gerais, no bioma Mata Atlântica nos municípios de Araponga e Divino. Nestes municípios e nos municípios de Carangola, Espera Feliz, Miradouro, Tombos e Eugénópolis (Figura 1), o CTA-ZM realizou experimentação participativa com sistemas agroflorestais (SOUZA, 2006).

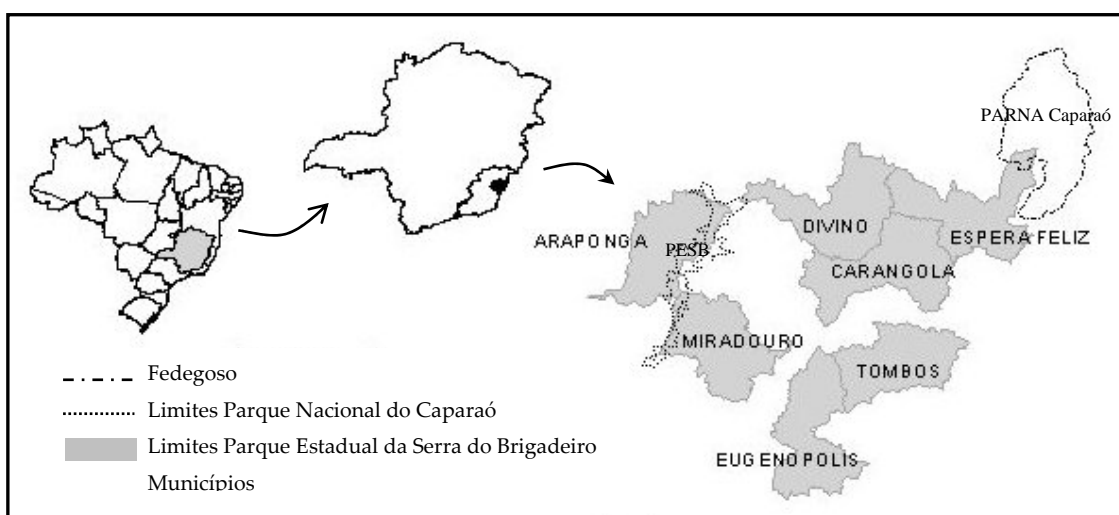


Figura 1: Municípios da Zona da Mata mineira onde realizou-se experimentação participativa com Sistemas Agroflorestais.

A temperatura média da região é de 18 °C, a precipitação anual varia de 1.200 a 1.800 mm, com um período seco de 2 a 4 meses. O relevo é montanhoso com declividade variando de 20 a 45 % nas encostas (GOLFARI, 1975) e a classe de solo predominante é a de Latossolos sendo em geral solos profundos, bem drenados, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes (KER, 1995).

Em setembro de 2005 foi selecionado, juntamente com os agricultores, as espécies arbóreas para este estudo as quais foram: *Persea americana* (abacate), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), *Inga subnuda* (Ingá), *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto), *Senna macranthera* (fedegoso), *Erythrina verna* (mulungu), e *Aegiphila sellowiana* (papagaio).

No Quadro 1 são apresentada a identificação e a localização completa das espécies estudadas. Quatro repetições (árvores) de cada espécie foram selecionadas ao acaso em um mesmo SAF. Em Araponga (20° 48' S e 42° 32' W) estudou-se as espécies abacate e papagaio no SAF 1; o ingá no SAF 2; o mulungu no SAF 3 e o fedegoso no SAF 4. Em Divino (20° 33' S e 42° 11' W) estudou-se as espécies ipê-preto e açoita-cavalo, no SAF 5. Os SAFs foram implantados em 1994, mas algumas espécies foram introduzidas em 1999 quando os sistemas foram redesenhadas³. Desta forma, a idade das árvores no primeiro ano de coleta, variou entre 7 e 10 anos.

Quadro 1: Identificação e localização de espécies arbóreas selecionadas para estudo de características que interferem na ciclagem de nutrientes das espécies arbóreas usadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais.

Nome comum	Nome científico	Família	SAFs	Município (Comunidade)
Abacate	<i>Persea americana</i> Mill.	Lauraceae	SAF1	Araponga (Lanas)
Papagaio	<i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.	Verbenaceae		
Ingá	<i>Inga subnuda</i> subsp. <i>luschnathiana</i> (Benth.) T. D. Penn.	Leguminosae	SAF2	
Mulungu	<i>Erythrina verna</i> Vell	Leguminosae	SAF3	Araponga (São Joaquim)
Fedegoso	<i>Senna macranthera</i> (DC. ex Collad.) H.S. Irwin & Barneby	Leguminosae	SAF4	
Ipê-preto	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bur.	Bignoniaceae	SAF5	Divino (Carolas)
A açoita-cavalo	<i>Luehea grandiflora</i> Mart	Tiliaceae		

2.2. Produção de biomassa da parte aérea

Para estimar a biomassa da parte aérea total das espécies, utilizou-se o método da amostragem não destrutiva para fins botânicos, a partir dos valores de diâmetro a altura do peito (DAP) das árvores. A matéria seca (MS) de cada árvore foi estimada segundo a equação:

$$Y = 38,4908 - 11,7883 \times DAP + 1,1926 \times DAP^2 \text{ (BROWN et al., 1989), onde:}$$

$$Y = \text{matéria seca estimada por árvore (kg) e}$$

³ Termo usado para identificar a fase da experimentação de SAFs em que se avaliou coletivamente o manejo dos SAFs e optou-se pela eliminação de espécies consideradas pelos agricultores como incompatíveis com o café, ou de manejo desconhecido, e inserção de espécies consideradas como compatíveis e/ou de manejo conhecido, ou apenas pela redução do número de árvores nos SAFs (Souza, 2006).

DAP = o diâmetro a 1,30 m de altura do tronco da árvore (cm).

Para determinar o incremento de biomassa no intervalo de um ano mediu-se o DAP em outubro de 2005 (início das avaliações) e em outubro de 2006 (final das avaliações), com o auxílio de uma fita métrica. O incremento de biomassa em um ano foi calculado pela diferença entre a biomassa final e a biomassa no início do experimento. A extrapolação do cálculo para a área de um hectare foi obtida considerando o número médio de 100 árvores por hectare nestes SAFs (SOUZA, 2006). O C-imobilizado na biomassa foi estimado considerando ser este, 58 % da biomassa seca, também denominada matéria seca (MS).

O diâmetro da copa de cada árvore foi determinado utilizando-se uma trena. A partir do diâmetro calculou-se a área da copa, assumindo o formato circular. A idade das árvores foi estimada pelos agricultores e com o auxílio de uma vara graduada mediu-se a altura, caracterizando melhor o porte das árvores.

2.3. Produção de material senescente

Para avaliar a produção de material senescente foram utilizados coletores de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) de madeira e tela de nylon com malha de 2 x 2 mm. Os coletores foram instalados a uma altura aproximada de 60 cm do chão, sob a copa das árvores, localizados próximo ao tronco, sendo utilizados um coletor por árvore. O material interceptado pelos coletores foi mensalmente coletado durante o período de outubro de 2005 a setembro de 2006, por volta do dia 15 de cada mês. Na Figura 2 encontra-se a temperatura média e a precipitação pluviométrica de Viçosa no período (Departamento de Engenharia Agrícola – UFV, 2006).

No laboratório o material foi separado em folhas (F), galhos finos - menores que 2 cm de diâmetro (GF), galhos grossos - maiores que 2 cm de diâmetro (GG) e estruturas reprodutivas - flores e frutos (FF). Em seguida, o material foi seco a 65°C por 72 horas e pesado, obtendo-se assim a massa seca (MS) de material aportado mensalmente de cada órgão da planta por coletor, isto é, em uma área de 0,25m². O material senescente (Mg de MS) acumulado nas estações (verão, outono, inverno e primavera) e no ano foi obtido pela soma dos valores mensais.

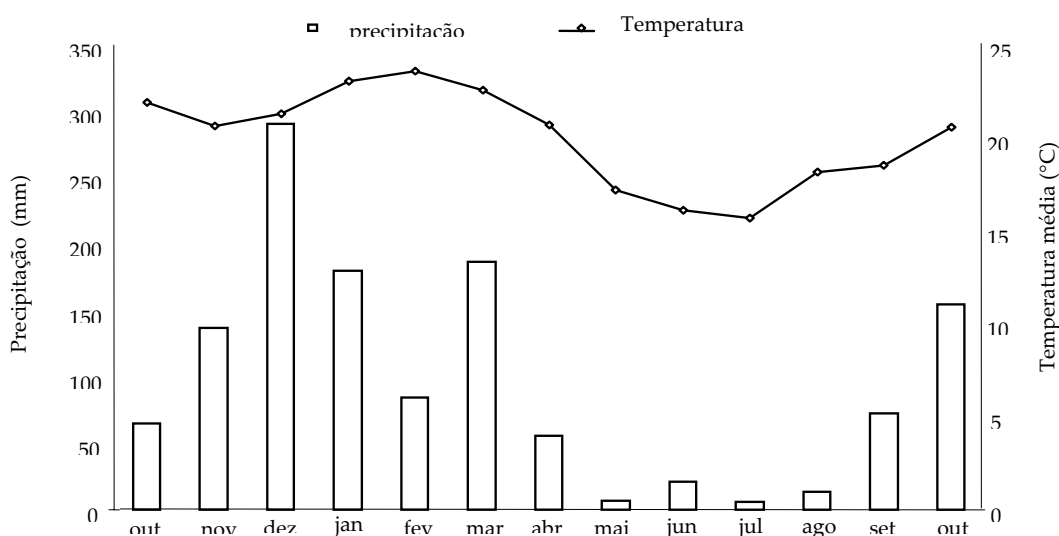


Figura 2: Temperatura média e precipitação pluviométrica de Viçosa no período de outubro de 2005 a setembro de 2006.

O total de material por espécie foi obtido pela soma dos valores individuais dos diferentes órgãos da planta (folha + galho fino + galho grosso + flor e fruto) coletados por árvore amostrada.

A partir da área da copa estimou-se a quantidade de material, em kg de MS por árvore, proporcionalmente ao aportado na área do coletor utilizado sob a copa da árvore. O aporte de material por área (kg ha^{-1} de MS) foi estimado pelo produto da quantidade de MS por árvore e o valor médio de 100 árvores ha^{-1} sendo este, o número de árvores frequentemente observados por hectare de SAFs com café, na região da Zona da Mata mineira (SOUZA, 2006).

2.4. Análise dos dados

Inicialmente promoveu-se a análise estatística descritiva dos dados sendo apresentados os valores médios e o erro padrão da média. A produção de material senescente das espécies foi analisada efetuando-se a análise de variância e seguida de comparação planejada (“planned comparisons”) para testar as diferenças entre médias utilizando o software Statistica (STATSOFT INC., 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de biomassa da parte aérea.

A área da copa, a altura das árvores e o diâmetro a altura do peito (DAP), esta última em duas datas de avaliação, encontram-se no Quadro 2. A área média da copa variou de 6,1 m² para o papagaio a 51,3 m² para o fedegoso e a altura de 5,4 m para o papagaio a 10,3 m para o mulungu. A altura e diâmetro de copa menor observada para o papagaio podem ser atribuídos ao fato desta espécie ter sofrido poda drástica alguns meses antes das avaliações. A poda é uma técnica de manejo utilizada pelos agricultores para permitir maior entrada de luz no sistema, ao mesmo tempo em que aporta ao solo material orgânico e nutrientes. Entretanto, esta não é uma prática comum dos agricultores da região da Zona da Mata.

Quadro 2: Área da copa, altura e diâmetro a altura do peito (DAP) de espécies arbóreas, usadas em SAFs na Zona da Mata de Minas Gerais. Entre parêntese é apresentado o erro padrão.

Espécies	Local	Área copa	Altura	DAP	
		out /05 (m ² árvore ⁻¹)	out /06 (m)	out /05 .....(cm).....	out /06
Abacate	SAF 1	27,9 (9,8)	8,6 (2,3)	15,2 (3,0)	17,9 (4,1)
Papagaio	SAF 1	6,1 (5,7)	5,4 (0,8)	12,3 (2,2)	12,7 (1,4)
Ingá	SAF 2	43,8 (21,9)	9,2 (1,1)	13,1 (1,9)	14,2 (2,1)
Mulungu	SAF 3	15,4 (7,9)	10,3 (2,2)	18,3 (5,3)	21,9 (5,8)
Fedegoso	SAF 4	51,3 (23,0)	9,2 (2,0)	16,3 (4,7)	19,6 (6,6)
Ipê-preto	SAF 5	7,7 9 (5,7)	8,8 (1,8)	15,7 (5,7)	16,4 (6,4)
Açoita-cavalo	SAF 5	20,9 (7,0)	8,1 (1,6)	20,7 (1,9)	23,0 (2,9)

O erro padrão elevado dos dados pode ser atribuído à introdução dessas árvores sem controle rígido de tempo, sendo que muitas delas nasceram espontaneamente nos SAFs e foram apenas manejadas pelos agricultores. Pode haver variabilidade genética entre indivíduos da mesma espécie, pois não houve controle de origem das sementes e/ou mudas utilizadas.

O incremento anual de biomassa da parte aérea e a imobilização de C pelas espécies arbóreas ao final de um ano, calculados com base nos dados do quadro 2, encontram-se no Quadro 3.

Quadro 3: Biomassa aérea, incremento anual de biomassa aérea e carbono imobilizado por espécies arbóreas em Sistemas agroflorestais. Entre parênteses é apresentado o erro padrão.

Espécies	Biomassa aérea			C-imobilizado ¹ (kg árvore ⁻¹ ano ⁻¹)
	out /05	out / 06	incremento anual	
	..... (kg árvore ⁻¹ de MS).....			
Abacate	142,2 (81,2)	223,9 (68,5)	81,7 (56,8)	47,3
Açoita-cavalo	307,4 (74,7)	406,4 (66,5)	99,0 (58,8)	57,4
Mulungu	247,3 (72,3)	382,7 (107,8)	135,4 (39,2)	78,5
Fedegoso	183,9 (70,4)	304,3 (124,8)	120,4 (55,0)	69,8
Ingá	86,9 (21,7)	126,2 (28,3)	39,3 (6,6)	22,8
Ipê-preto	214,7 (89,5)	249,0 (107,0)	34,3 (18,0)	20,0
Papagaio	50,9 (19,6)	79,1 (28,4)	28,2(8,8)	16,3

¹ Carbono imobilizado = 58 % da biomassa total.

O maior incremento anual na produção de biomassa (kg árvore⁻¹ de MS) foi apresentado pelo mulungu (135,4), seguido pelo fedegoso (120,4), açoita-cavalo (99,0), abacate (81,7), ingá (39,3), ipê-preto (34,3) e papagaio (28,2). Assumindo que os SAFs são constituídos por estas espécies, em uma mesma proporção entre elas, e a média de 100 árvores ha⁻¹ nestes SAFs (SOUZA, 2006), pode-se calcular com base no Quadro 3, um aporte médio anual de MS de 77 kg árvore⁻¹ ou 7.700 kg ha⁻¹, o que equivale a 4,5 kg árvore⁻¹ ano⁻¹ de C- imobilizado, ou ainda, 4.500 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

O maior crescimento do mulungu pode ser atribuído ao fato de que as árvores, embora de porte elevado, encontravam-se ainda em crescimento vegetativo.

Em toda a região da Zona da Mata, tem-se uma área plantada de 194.647 ha de café (IBGE, 2005) que é a principal cultura de renda na região. Considerando-se que os SAFs são uma boa opção para o plantio do café na região, devido às condições de relevo movimentado, e também devido à presença significativa de agricultores familiares cuja diversificação da produção é desejada e considerando ainda toda a área de café plantada na região manejada com SAFs teríamos então um seqüestro na ordem de 8,7 x 10⁵ kg ano⁻¹ de C nestas áreas, sendo realizado pelas árvores presentes nos SAFs. Neste contexto, os SAFs poderiam prestar este serviço ambiental, pois ao seqüestrar carbono contribuiriam para a redução do efeito estufa, como sugerido por SANCHEZ (1995). Além disso, contribuiriam para o aumento de conexões entre os remanescentes de Mata Atlântica melhorando o

fluxo gênico (VANDERMEER; PERFECTO, 2007), conciliando produção agrícola e prestação de serviços ambientais diversos.

3.2. Produção de material senescente

No Quadro 4 são apresentadas a produção de material senescente das espécies arbóreas e o erro padrão, considerando os diferentes órgãos da planta e de acordo com a estação do ano. A produção total (kg ha⁻¹ de MS) de material senescente acumulada no ano diferiu ($p < 0.01$) entre as espécies.

O fedegoso apresentou o maior ($p < 0,05$) aporte (6.086,9 kg ha⁻¹), seguido pelo ingá (4.331,2 kg ha⁻¹) que também diferiu das demais espécies ($p < 0,01$). O açoita-cavalo (2.397,7 kg ha⁻¹) e o abacate (2.004,5 kg ha⁻¹) não diferiram entre si e diferiram das demais espécies ($p < 0,05$). Ipê-preto (319,1 kg ha⁻¹), mulungu (417,5 kg ha⁻¹) e papagaio (68,3 kg ha⁻¹) também não diferiram entre si e diferiram das demais ($p < 0,05$). No ANEXO 1 encontra-se o quadro de análise de variância.

O aporte de serapilheira avaliado em um SAF na Zona da Mata mineira (ARATO et al., 2003) foi de 10.165,13 kg ha⁻¹ ano⁻¹ sendo, portanto, muito superior aos apresentados neste estudo. Essa diferença está relacionada ao desenho⁴ do SAF avaliado. Em SAFs mais densos, com a área totalmente coberta pela copa das árvores, a extrapolação é feita considerando que em toda a extensão da área o aporte de material é igual ao verificado na área do coletor. Nos SAFs avaliados neste estudo as árvores encontravam-se espaçadas entre si e as copas das árvores não cobriam totalmente a área, por isso nos cálculos considerou-se o diâmetro da copa de cada árvore amostrada e a densidade média de 100 árvores por hectare de SAF.

Em florestas estacionais semidecíduais da região Sudeste e Sul do Brasil o aporte anual de serapilheira foi de 11.590 a 7.770 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (DINIZ; PAGANO, 1997; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997;).

⁴ Termo utilizado quando se refere à disposição e densidade das árvores nos SAFs

Quadro 4: Quantidade de material senescente de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais, considerando diferentes órgãos da planta de acordo com a estação do ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão da média (médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste “planned comparisons” a 10%).

Órgão	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Total anual
.....kg ha ⁻¹					
Abacate					
Folhas	212,3 (76,5)	40,3 (5,8)	205,5 (78,8)	236,1 (70,6)	694,2
Galhos finos	19,4 (13,5)	3,6 (1,5)	8,1 (3,7)	37,8 (15,1)	68,9
Galhos grossos	-	-	-	-	0,0
Flores e frutos	10,3 (9,3)	1,4 (1,4)	493,2 (377,4)	736,5 (682,4)	1.241,4
Material total	242,0	45,2	706,8	1010,4	2.004,5 C
Açoita-cavalo					
Folhas	217,8 (52,6)	138,6 (23,2)	369,7 (37,6)	479,2 (77,3)	1.205,3
Galhos finos	139,0 (114,4)	23,3 (11,7)	17,6 (3,5)	215,4 (195,8)	395,3
Galhos grossos	-	-	-	297,4 (297,4)	297,4
Flores e frutos	80,8 (27,5)	257,5 (57,8)	39,0 (13,1)	122,4 (18,7)	499,7
Material total	437,5	419,4	426,2	1.114,5	2.397,7 C
Ipê-preto					
Folhas	11,2 (7,0)	41,1 (32,9)	143,5 (64,4)	15,5 (10,5)	211,3
Galhos finos	-	38,4 (38,4)	10,0 (10,0)	0,1 (0,1)	48,5
Galhos grossos	-	26,8 (26,8)	-	-	26,8
Flores e frutos	-	-	32,5 (32,1)	0,1 (0,1)	32,6
Material total	11,2	106,3	185,9	15,7	319,1 D
Papagaio					
Folhas	30,9 (21,6)	7,6 (3,2)	13,2 (4,6)	12,7 (6,1)	64,4
Galhos finos	-	0,3 (0,3)	0,2 (0,2)	0,8 (0,8)	1,3
Galhos grossos	-	-	-	-	0,0
Flores e frutos	2,6 (2,6)	-	-	-	2,6
Material total	33,5	7,9	13,4	13,5	68,3 D
Eritrina					
Folhas	32,2 (12,3)	191,5 (114,3)	167,0 (89,6)	7,6 (7,6)	398,3
Galhos finos	11,0 (11,0)	-	4,4 (4,4)	3,8 (2,2)	19,2
Galhos grossos	-	-	-	-	0,0
Flores e frutos	-	-	-	-	0,0
Material total	43,2	191,5	171,4	11,3	417,5 D
Ingá					
Folhas	1.112,0 (245,5)	410,4 (96,3)	1.063,4 (427,1)	693,1 (128,2)	3.278,8
Galhos finos	46,1 (27,3)	185,8 (144,5)	115,1 (91,6)	88,6 (44,7)	435,5
Galhos grossos	-	-	-	-	0,0
Flores e frutos	65,9 (38,2)	2,4 (1,4)	222,5 (88,8)	326,1 (204,7)	616,9
Material total	1.224,0	598,5	1.401,0	1.107,7	4.331,2 B
Fedegoso					
Folhas	483,2 (231,3)	312,2 (101,5)	466,9 (160,4)	509,7 (150,9)	1.772,0
Galhos finos	728,2 (677,2)	125,6 (64,2)	253,7 (226,1)	90,5 (49,1)	1.198,0
Galhos grossos	504,5 (504,5)	-	-	-	504,5
Flores e frutos	969,8 (354,6)	262,2 (158,6)	1.043,3 (420,3)	337,1 (113,6)	2.612,4
Material total	2685,6	700,1	1763,9	937,3	6086,9 A

As médias de produção de folhas, galhos finos, galhos grossos e estruturas reprodutivas no material senescente diferiram entre si ($p < 0,01$) e entre as espécies ($p < 0,01$), mas quando avaliadas as espécies em conjunto, a fração folhas predominou ($p < 0,01$) em relação às demais. Avaliando individualmente cada espécie, a fração folha não predominou apenas para o abacate e o fedegoso (Quadro 4) sendo que para as demais espécies os valores percentuais de folhas variaram de 50 % (açoita-cavalo) a 95 % (mulungu). Em estudos de ARATO et al. (2003) realizado em um SAF localizado em Viçosa, as folhas corresponderam a 64 % do material senescente. Em florestas estacionais semidecíduais a percentagem de folhas variou de 68 a 72 % (MEENTMEYER et al., 1982; DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997), demonstrando em todos os estudos uma predominância desta fração sobre as demais.

A ocorrência de galhos finos variou de 2 a 20 % entre as espécies. Este é o segundo componente mais presente no material senescente de maioria das espécies. Galhos grossos foram verificados apenas para o açoita-cavalo, fedegoso e Ipê-preto sendo que, o açoita-cavalo apresentou a maior proporção com 12%. Em SAFs, a presença de galhos grossos no material senescente das árvores pode implicar em danos a cultura consorciada, além de aumentar a mão de obra no manejo da lavoura pela necessidade de remoção do material, entretanto, esta não foi citada pelos agricultores como uma característica negativa das espécie. Assim sendo o valor de 12 % de galhos grossos no material senescente parece aceitável nos SAFs.

A contribuição de flores e frutos no material senescente predominou para o fedegoso (43%) e para o abacate (62 %). Nas outras espécies excetuando-se o mulungu, essa fração variou de 4 % (papagaio) a 21 % (açoita-cavalo). O mulungu não havia alcançado o seu período reprodutivo não apresentando, portanto, estruturas reprodutivas no material senescente. Para o papagaio e o ipê-preto apenas uma das árvores amostradas (repetição) apresentaram estruturas reprodutivas. A participação desta fração em serapilheira de SAF na região foi de 20 % (ARATO et al., 2003). Em florestas estacionais semidecíduais no Sul e Sudeste do Brasil esses valores variaram de 10% a 12,9 % (DIAS; OLIVEIRA FILHO, 1997; DINIZ; PAGANO, 1997). O alto valor encontrado para esta fração em SAFs pode

ser devido a presença de espécies com frutos grandes como o abacate (ARATO et al., 2003) e fedegoso. Entretanto, não se pode descartar a hipótese de capacidade diferenciada de produção de frutos entre as espécies, o que deve ser objeto de avaliações mais acuradas no futuro.

O aporte de material senescente diferiu ($p < 0,01$) entre as estações. Houve interação significativa entre espécie e estação ($p < 0,01$). A estação com menor aporte de material foi o outono, sendo que contribuíram para este efeito principalmente o abacate, o papagaio, o ingá e o fedegoso. O aporte total de material senescente nas demais estações foi similar.

3.3. As espécies e o aporte de material senescente

3.3.1. Abacate (*Persea americana*)

O maior aporte de material senescente (50,4 %) pelo abacate ocorreu na primavera, sendo que deste total, 72,9 % constituíram-se de estruturas reprodutivas e 23,4 % de folhas (Quadro 4). O abacateiro floresce, normalmente, no final do inverno e sua frutificação e maturação pode ser precoce ou tardia, dependendo da cultivar (CASTRO, 2003). Para as cultivares tardias a colheita do fruto é retardada como foi o caso desse estudo, onde a partir de julho até outubro, se verificou o aporte de frutos maduros no material senescente.

No SAF estudado os frutos do abacate são parcialmente colhidos, sendo que as maiorias desses frutos permanecem como serapilheira no solo, contribuindo, portanto para a ciclagem de nutrientes no sistema. Como grande parte do fósforo no tecido vegetal encontra-se nas estruturas reprodutivas (MALAVOLTA, 1980) principalmente nos frutos, e sendo esse elemento um dos principais limitantes para a produção dos ecossistemas tropicais, espécies como abacate e fedegoso, que aportam grande parte de material na forma de flores e frutos, constituem espécies estratégicas nos desenhos de SAFs.

A quantidade de folhas presentes no material senescente foi menor no outono. Nas demais estações a quantidade de folhas foi maior e semelhante, o que torna as folhas, componentes significativo do material senescente da espécie.

3.3.2. Açoita-cavalo (*Luehea grandiflora*)

Em torno 46,5 % do material senescente aportado pelo açoita-cavalo ocorreu na primavera sendo que nesta estação, as folhas predominaram (43 %) no total de material acumulado (Quadro 4). Os galhos grossos tiveram todo o seu aporte concentrado na primavera elevando, conseqüentemente, o aporte de galhos finos uma vez que galhos grossos trazem consigo galhos finos. Nas demais estações o aporte de material senescente foi mais uniforme. No outono houve maior contribuição de flores e frutos (61,4 %) do total de material acumulado na estação, pois muitos frutos caem antes de completarem a maturação. Em Minas Gerais o período de floração e frutificação da espécie acontece nos meses de dezembro a julho. O amadurecimento e pico de senescência dos frutos é verificado entre os meses de junho e outubro, sendo que o processo reprodutivo da espécie inicia precocemente por volta dos dois anos de idade (CARVALHO, 1994).

3.3.3. Ipê-preto (*Zeyheria tuberculosa*)

O ipê-preto apresentou maior aporte de material senescente no inverno (58,3 %), seguido do outono (33,3 %). O aporte de folhas predominou sobre as demais frações da serapilheira em todas as estações e os aportes de galhos e de flores e frutos foram observados principalmente no outono. Em sistemas silvopastoris de cerrado, REIS et al. (2006) encontrou que 85% da produção de serapilheira da espécie concentraram-se no período de junho a novembro, assemelhando-se aos resultados encontrados neste estudo. O autor ressalta o potencial da espécie de contribuir com a manutenção da fertilidade dos solos de cerrado, principalmente em relação aos níveis de N, K e Ca.

Em Minas Gerais, o ipê-preto floresce de novembro a janeiro e frutifica em abril e os frutos permanecem na árvore por algum tempo (LORENZI, 1992). Neste estudo apenas uma árvore avaliada havia atingido o seu período reprodutivo. Segundo CARVALHO (1994) existe uma ampla variabilidade fenológica para esta espécie, principalmente com relação à perda de folhas.

3.3.4. Papagaio (*Aegiphila sellowiana*)

O Papagaio aportou maior quantidade de material senescente no verão chegando este a 49 % do total aportado. O menor aporte ocorreu no outono (11,6 %) e em todas as estações as folhas predominaram no material senescente da espécie. Já os frutos contribuíram com 8 % do total de material acumulado no verão.

O papagaio é uma espécie decídua e floresce abundantemente durante os meses de novembro e dezembro, quando intensifica a perda de suas folhas. Suas flores são melíferas. O florescimento da espécie ocorre nos meses de dezembro e janeiro e a maturação dos frutos ocorre de fevereiro a abril, permanecendo na árvore por mais algum tempo (LORENZI, 1992). Durante o período estudado apenas uma das árvores floresceu, devido às árvores da espécie terem sofrido uma poda drástica feita alguns meses antes do início desse estudo.

Segundo LORENZI (1992), esta é uma espécie heliófita e pouco exigente em fertilidade, se adaptando a solos degradados. Por essa razão e também pelo rápido crescimento, é uma espécie muito recomendada para reflorestamentos heterogêneos destinados à recomposição de áreas degradadas.

3.3.5 Mulungu (*Erythrina verna*)

O aporte de material senescente do mulungu concentrou-se no outono e no inverno totalizando nestas duas estações 87 %. Durante os meses de novembro e dezembro, o aporte de material senescente chegou a ser nulo, o que se explica devido o caráter decíduo da espécie, com perda total das folhas no final do inverno.

Não houve contribuição de flores e frutos, pois os indivíduos estudados não haviam atingido o estágio reprodutivo, embora fossem árvores com altura média de 10,3 metros (Quadro 2). Esta espécie floresce a partir de meados de agosto com a árvore totalmente destituída de folhagem, os frutos amadurecem em outubro e novembro com a planta ainda sem folha (LORENZI, 1992), quando então pode ser esperada uma contribuição de flores e frutos na composição da serapilheira. Logo após a queda dos frutos inicia-se a formação de uma nova folhagem.

3.3.6. Ingá (*Inga subnuda*)

O ingá apresentou aporte mais constante ao longo das estações do ano, sendo estes valores maiores no inverno (32,3 %) e menores no outono (13,8 %). Em todas as estações, as folhas contribuíram em maior parte no material senescente da espécie. A estação de maior aporte de galhos finos foi o outono (43 % do total do ano) e o maior aporte de flores e frutos ocorreu na primavera (53 % do total do ano). A espécie floresceu em novembro e dezembro e frutificou no período de janeiro a março, sendo encontrados registro de floração da espécie no período de agosto a novembro e de fevereiro a maio. A frutificação normalmente acontece de setembro a abril e junho (GARCIA, 1998).

3.3.7. Fedegoso (*Senna macranthera*).

O fedegoso apresentou um aporte de material senescente variando de 700 (no outono) a 2.686 kg ha⁻¹(no verão). As folhas e estruturas reprodutivas (flores e frutos) foram os órgãos da planta que mais contribuíram no material senescente produzido pelo fedegoso, exceto no verão, quando o aporte de galhos finos foi maior (27 %) do que o aporte de folhas (18 %). A espécie floresce de maneira exuberante durante vários meses, especialmente, de dezembro a abril, sendo que a maturação dos frutos verifica-se nos meses de julho a agosto (LORENZI, 1992) e estes permanecem um pouco mais nas árvores. Isto justifica então o aporte superior a 30 % de flores e frutos durante todas as estações, demonstrando a importância desse componente no material senescente da espécie.

3.4. Aporte de folhas no material senescente

As folhas são o principal componente do material senescente de maioria das espécies florestais e a perda de folhas das espécies é especialmente importante, pois permite a entrada de luz no sistema, necessária a formação das gemas foliares do cafeeiro. Recomenda-se por isso o sombreamento da lavoura próximo de 30%, sendo que o sombreamento muito superior a 30%, afeta a indução floral refletindo em baixas produtividades da lavoura (BAGGIO et al., 1997, citado por MATSUMOTO, 2004).

A Figura 3 (3a, 3b e 3c) apresenta o aporte de folhas no material senescente para as espécies avaliadas ao longo do ano.

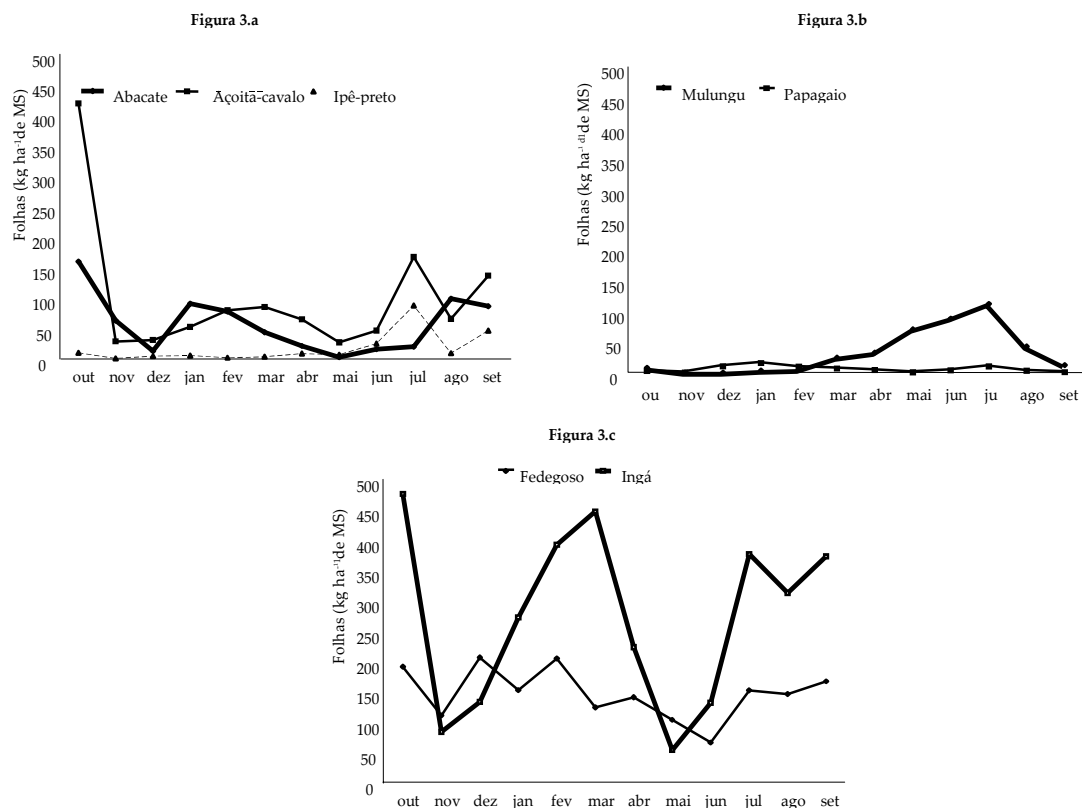


Figura 3: Aporte mensal de folhas no material senescente de árvores utilizadas em SAFs; a) Abacate, açoiã-cavalo e ipê-preto; b) Mulungu e papagaio c) Fedegoso e ingá.

O ipê-preto, o abacate e o açoiã-cavalo (Figura 3a) apresentaram maior aporte (kg ha⁻¹ de MS) no período de julho a outubro, sendo que em julho o ipê-preto apresentou o seu máximo de aporte (87,8) e, em outubro o abacate (160) e o açoiã-cavalo (419). O ipê-preto e o açoiã-cavalo são espécies semidecíduas e perdem grande parte de suas folhas a partir do mês de maio e junho. Ao iniciar as chuvas as árvores formam nova folhagem que se mantém durante o verão e o outono. Já o abacate apresentou um aporte mais uniforme da fração folha no material senescente ao longo do ano, ele é também uma espécie que renova as folhas a cada dois anos. Sendo esta renovação mais intensa no período de florescimento que acontece normalmente no final do inverno, com duração de três a oito semanas (CASTRO, 2003). A informação está de acordo com os dados

apresentados neste estudo, cuja maior quantidade de folhas no material senescente ocorreu durante a primavera (236 kg ha⁻¹ de MS, Quadro 4).

Na Figura 3.b é apresentado o aporte de folhas no material senescente (kg ha⁻¹ de MS) ao longo do ano, para o mulungu e o papagaio. Em julho ocorreu o máximo aporte (112,3) para o mulungu, neste período o papagaio também apresentou aporte razoável (9,94). O máximo aporte para o papagaio foi verificado em janeiro (15,3).

Na Figura 3.c encontra-se o aporte de folhas no material senescente do ingá e do fedegoso (kg ha⁻¹ de MS). Os maiores aporte ocorreram nos meses de março (447,3) e outubro (475) para o ingá; e em dezembro (206,8) e fevereiro (205,3) para o fedegoso. Os menores aportes ocorreram em maio (54,5) para o ingá e junho para o fedegoso (67).

A maioria das espécies (abacate, açoita-cavalo, ipê-preto, mulungu, ingá e fedegoso) apresentou uma elevação no aporte de folhas a partir de maio, junho e julho, sendo este aporte devido ao material vegetal que caiu em abril, maio e junho. Pesquisas efetuadas, relacionando a fisiologia do cafeeiro cultivado à sombra e sua produção, concluíram que na região de Viçosa a fase de indução floral ocorre de abril até junho (MATSUMOTO, 2004). Esta é a fase do desenvolvimento do cafeeiro mais influenciada pela sombra, durante a qual o excesso de sombra pode conduzir a menor formação de nós produtivos e de flores por nó (CASTILLO; LOPEZ, 1996) e, conseqüentemente, menor produção de frutos. Este estudo mostra que a estratégia utilizada pelos agricultores, de selecionar essas espécies para uso no consórcio com o café utilizando o critério da perda de folhas (SOUZA, 2006) está correta, há uma maior abertura do dossel formado pela copa das árvores no período em que o café exige maior quantidade de luz.

Considerando SAFs diversos como estes da Zona da Mata, haverá contribuição de material senescente, não de uma espécie mas, de todas as espécies em conjunto. A

Figura 4 apresenta o aporte médio de material senescente total (folhas + galhos + flores + frutos) e as proporções de folhas presentes no material das sete espécies estudadas ao longo do ano.

Nestes SAFs há um aporte contínuo de material orgânico no solo, mesmo que em pequenas quantidades como verificado para os meses de dezembro e maio (69 e 72 kg ha⁻¹ de MS respectivamente). Esse aporte constante de material além de fornecer proteção ao solo contra o impacto das chuvas e ventos, retém por mais tempo a umidade do solo e reduz as variações de temperatura, melhora as características químicas, físicas e biológicas, diminuindo a erosão e melhorando a ciclagem de nutrientes (YOUNG, 1997).

As maiores contribuições de material senescente (kg ha⁻¹ de MS) aconteceram nos meses de março (363) e outubro (381). O pico de aporte de material vegetal no final da estação chuvosa (início do outono) ocorreu devido, especialmente, ao aporte de material do açoita-cavalo, ingá e fedegoso (Figuras 3a, 3b e 3c). Entretanto, comparando-se o aporte de folhas senescentes com o aporte de material vegetal total, observa-se que em março houve uma grande contribuição de outros órgãos da planta que não as folhas.

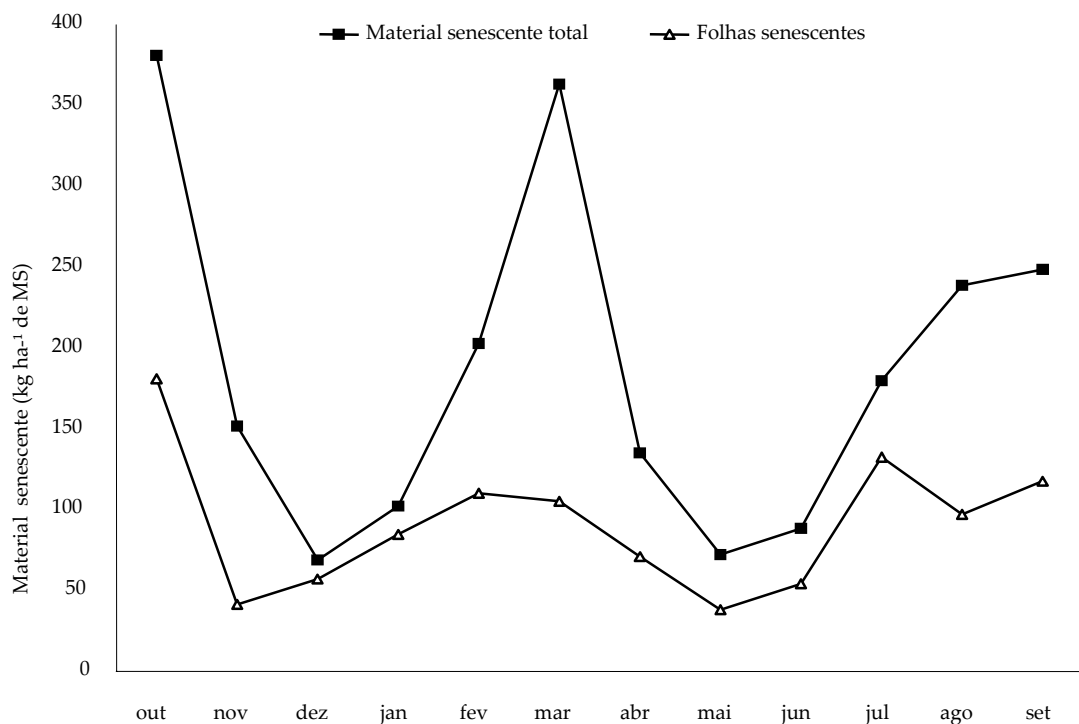


Figura 4: Média da produção de material senescente total e de folhas senescentes (para sete espécies arbóreas) no período de novembro de 2005 a outubro de 2006.

No mês de março o açoita-cavalo e o fedegoso estavam em pleno período de floração e frutificação aportando grande quantidade de flores e frutos (dados não apresentados). As quantidades acumuladas na estação (Quadro 4) confirmam este fato, onde o aporte de flores + frutos foi de 257,5 kg ha⁻¹ de MS para o açoita-cavalo, superior ao aporte de folhas que foi de 138,6 kg ha⁻¹ de MS. Para o fedegoso estas quantidades foram de 262,2 kg ha⁻¹ de MS de flores + frutos e um pouco mais, 312,2 kg ha⁻¹ de MS de folhas.

O aumento no aporte de material senescente nos meses de julho, agosto, setembro, com valor máximo em outubro teve grande contribuição de folhas. Em florestas estacionais semidecíduais, como as encontradas na Zona da Mata mineira, a queda de folhas ocorre no final da estação seca coincidindo também com a época de menor temperatura, ou seja, o final do inverno e início da primavera. Esta é uma resposta da vegetação à estacionalidade climática (MARTINS; RODRIGUES, 1999).

Vários estudos realizados demonstraram que o estresse hídrico no solo está relacionado com elevados níveis endógenos de etileno (WRIGHT, 1977; APELBAUN; YANG, 1981), e de ácido abscísico (WRIGHT, 1977) na planta, ambos são compostos promotores da senescência. Logo, a queda de folhas pode ter ocorrido em função da regulação hormonal endógena, devido a um sinal externo, no caso, o estresse hídrico, desencadeando uma série de eventos fisiológicos na planta levando à abscisão foliar.

Uma grande quantidade de material orgânico é acumulada de junho a setembro em função do aumento no aporte, e também da baixa umidade do ar e do solo e da baixa temperatura. Com o início do período chuvoso e o aumento da temperatura, a decomposição do material senescente é estimulada constituindo-se potencial para liberar nutrientes para o solo. Nesta época, o cafeeiro e maioria das árvores entram no período de maior vigor vegetativo e o fruto do cafeeiro está iniciando o seu crescimento “fase chumbinho” necessitando maiores quantidades de nutrientes.

O material acumulado neste período também confere ao solo, proteção contra a ação das chuvas que se iniciam em setembro, reduzindo conseqüentemente as possibilidades de ocorrer erosão nessas áreas. Em lavouras de café em SAFs da

região, a perda de solo foi de 217,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, enquanto que em sistemas convencionais, essa perda foi em torno de 2.611,9 kg ha⁻¹ano⁻¹ (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000). Outro efeito adicional do aporte de material senescente no solo no período mais seco do ano é a manutenção da umidade do solo resultando em maior estabilidade hídrica e térmica deste, sendo este efeito de grande importância para manter, mesmo que reduzida, a atividade biológica do solo.

No final do inverno, alguns agricultores fizeram o desbaste da parte inferior da copa das árvores melhorando a aeração e a entrada de luz para o cafeeiro e demais plantas sob a copa das árvores. No Quadro 5 são apresentadas as quantidades de material verde das espécies que foram podadas nestes SAFs no período desse estudo.

Quadro 5: Material verde das espécies, incorporado ao sistema por meio da poda de ramos baixos da copa.

Espécies	MF ¹ (kg árvore ⁻¹)	MF ¹ (kg ha ⁻¹)	MS ² (%)	MS ² (kg ha ⁻¹)
Abacate	13,00	1.300	39,3	510,3
Açoita-cavalo	2,13	213	49,9	106,1
Mulungu	1,44	144	44,8	64,3
Fedegoso	3,37	337	56,8	191,6
Papagaio	4,06	406	30,5	124,0
Média das espécies	4,80	480	-	142,3

¹MF – matéria fresca, ²MS – matéria seca

A quantidade de material por espécie podada variou de 1,4 a 13 kg por árvore de material fresco. O material retirado das árvores foi cortado em partes menores e jogado ao solo para ser decomposto e reciclado.

Considerando em média 100 árvores por ha de SAF compostos por estas espécies em igual proporção, foram aportados 480 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa verde ou 142 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS, que se somou ao aporte de material senescente (2.232 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS.) formando uma camada de material orgânico “*in situ*”, com potencial de conferir ao solo proteção constante, manutenção da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes. Estes dados apontam que é possível, utilizando a própria biodiversidade local, produzir quantidades consideráveis de material orgânico que

por sua vez são reciclados no sistema de produção, beneficiando a cultura e reduzindo os gastos com adubação.

4. CONCLUSÃO

As espécies eritrina, fedegoso, abacate e ingá apresentaram os maiores incrementos anuais de biomassa da parte aérea.

As espécies: fedegoso, ingá, açoita-cavalo e abacate apresentaram os maiores aporte de material senescente. As folhas foram o componente principal no material senescente de maioria das espécies, exceto para o abacate e o fedegoso cujos componentes principais foram as estruturas reprodutivas.

O outono foi a estação com menor aporte de material senescente, nas demais estações o aporte foi semelhante.

Houve queda de folhas pela maioria das espécies estudadas no período do inverno o que favorece a entrada de luz no sistema, podendo beneficiar a fisiologia do cafeeiro e favorecer uma boa produtividade da cultura sob SAFs.

O uso de espécies arbóreas diferentes em um mesmo SAF permitiu o aporte contínuo de material senescente sobre o solo, formando uma cobertura estável ao longo das estações do ano. Dessa forma ocorre a manutenção ao longo do ano das diferentes funções desempenhadas por esse material senescente, resultando em melhorias nas qualidades físicas, químicas e biológicas do solo.

CAPÍTULO 2

APORTE DE NUTRIENTES EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA MATA ATLÂNTICA

RESUMO

Em sistemas agroflorestais para melhorar a qualidade do solo, é importante estudar as características do componente arbóreo que interfere na ciclagem de nutrientes. Este trabalho objetivou estudar algumas destas características, mais especificamente, quantificar a realocação de nutrientes; os conteúdos de nutrientes presentes no material senescente, sua variabilidade ao longo das estações do ano e nos órgãos das plantas; e o potencial de fixação biológica de nitrogênio das espécies leguminosas. As espécies avaliadas foram: *Persea americana* (abacate), *Senna macranthera* (fedegoso), *Aegiphila sellowiana* (papagaio), *Erythrina verna* (mulungu), *Inga subnuda* (ingá), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo) e *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto). Analisou-se os teores de N, K, Ca, Mg, Cu e Zn em folhas, ramos e estruturas reprodutivas do material verde e do material senescente destas espécies nas quatro estações do ano, quantificou-se os conteúdos de nutrientes no material senescente e determinou-se a fixação biológica de nitrogênio das espécies leguminosas pelo método da abundância natural. Os mais altos teores de nutrientes em folhas do material verde verificados foram, N (Papagaio, mulungu e fedegoso); P (Mulungu, papagaio e fedegoso); K (Mulungu, fedegoso e ipê-preto); Ca (Abacate, papagaio e mulungu); Mg (papagaio, abacate e mulungu); Cu (papagaio e

ipê-preto) e Zn (ipê e mulungu). Algumas espécies apresentaram realocação sendo esta maior para N (papagaio e mulungu), P (abacate e fedegoso) e K (papagaio, fedegoso e abacate) chegando a valores de 73% para a realocação de P em abacate. A primavera foi o período em que a maioria das espécies arbóreas apresentou os maiores teores de nutrientes em folhas do material verde, apontando para a possibilidade se ter nesta estação material de alta qualidade para ser incorporado ao solo via poda. No material senescente, as espécies que aportaram maior conteúdo de nutrientes foram o fedegoso, ingá, açoita-cavalo e abacate. O aporte de nutrientes por cada espécie variou nas estações e nos órgãos da planta. As maiores porcentagens de FBN foram verificadas para o mulungu (22,6 %) e ingá (20,6%). O fedegoso apresentou 16,6%, entretanto a árvore estava em pleno período reprodutivo. As espécies avaliadas possuem características e dinâmicas diferentes, portanto, ao utilizar sistemas diversificados é possível ter uma ciclagem de nutrientes constante e equilibrada nestes sistemas.

PALAVRAS-CHAVE: árvores nativas, manejo do solo, fixação biológica de nitrogênio, ciclagem de nutrientes.

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é considerada como um dos biomas mais ameaçados do planeta (VANDERMEER; PERFECTO, 2007), mas de grande importância para a biodiversidade, sendo considerada por isto um dos cinco *hotspots* de biodiversidade do mundo (MYERS et al., 2002).

Um dos desafios para alcançar a sustentabilidade dos agroecossistemas na Mata Atlântica é aliar uso e ocupação do solo e de recursos naturais objetivando produzir e conservar o meio ambiente. Para tal é preciso compreender e respeitar as intrincadas relações ecológicas dos seres existentes nos diferentes ambientes (ALTIERI, 2004). Entretanto, isso não ocorreu ao longo de décadas com o uso de técnicas como monoculturas, desmatamentos e queimadas. Tais técnicas levaram à degradação dos recursos naturais (DEAN, 1996), tendo como uma das consequências a perda de qualidade dos solos na região.

Na região da Zona da Mata mineira, localizada na Mata Atlântica, os poucos fragmentos de mata ainda existentes estão isolados por uma matriz agrícola cuja base é o café a pleno sol ou as pastagens abertas, ambos sem a presença de árvores. Portanto, torna-se urgente a criação de uma nova matriz agrícola⁵ como um novo paradigma para o desenvolvimento sustentável (VANDERMEER; PERFECTO, 2007).

Na busca desta nova matriz e tendo como base os princípios agroecológicos, alguns agricultores da Zona da Mata optaram por manejar seus agroecossistemas utilizando baixo uso de insumos externos e potencializar os serviços ambientais advindos da biodiversidade local. Dentre as práticas agroecológicas consideradas, adotou-se o uso de sistemas agroflorestais (SAFs). Estes podem ser definidos como uma forma de cultivo múltiplo, no qual pelo menos duas espécies de plantas interagem biologicamente e pelo menos uma é arbórea e outra é manejada para produção agrícola ou pecuária (SOMARRIBA, 1992).

⁵ modelo de desenvolvimento agrícola sustentável, com base em princípios agroecológicos, que deve ser difundido e oportunizado, tendo em vista as características do bioma, o potencial de conexão entre áreas e a organização social existente.

Em uma área com elevado nível de fragmentação de ecossistemas, os SAFs têm se destacado como tecnologia capaz de aliar produção e preservação ambiental. Estes sistemas potencialmente podem contribuir para a conexão entre os remanescentes da Mata Atlântica representada ora pelas áreas de Reserva Legal nas propriedades familiares, ora pelas Áreas de Preservação Permanente (APPs). Inclusive, o manejo agroflorestal é permitido em algumas destas áreas pela legislação ambiental vigente (BRASIL, 2006).

Alguns SAFs com café e pastagens foram testados por agricultores familiares da região, utilizando espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, em um processo de experimentação participativa, durante aproximadamente 12 anos. Esta experiência foi sistematizada em um processo também participativo. A sistematização apontou as espécies arbóreas mais compatíveis com o café. Entre elas encontram-se a *Persea Americana* (abacate), a *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), a *Inga subnuda* (ingá), a *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto), a *Senna macranthera* (fedegoso), a *Erythrina verna* (mulungu) e a *Aegiphila sellowiana* (papagaio). Um dos critérios principais utilizados pelos agricultores para a introdução ou eliminação de espécies do sistema foi a competição com o café, principalmente, por água e nutrientes, outros critérios utilizados foram a produção de biomassa e a diversificação da produção (SOUZA, 2006).

Vários pesquisadores ressaltam o potencial das espécies arbóreas na ciclagem de nutrientes, por meio do aporte de material via serapilheira (CALDEIRA et al., 2000; REIS et al., 2006; KÖNIG, 2002) e o seu papel fundamental na manutenção das condições ideais para o processo de infiltração e retenção de água no solo. Entretanto, informações a respeito da ciclagem de nutrientes por espécies utilizadas em SAFs da Zona da Mata e em geral sobre as espécies nativas da Mata Atlântica são escassas na literatura.

O acúmulo de nutrientes na biomassa das árvores varia de nutriente para nutriente em função das características nutricionais de cada espécie, da idade, e dos diferentes níveis de fertilidade dos solos (PALM, 1995). Em espécies decíduas é notável a ocorrência do fenômeno da translocação interna de nutrientes (TEKLAY et al., 2004). Isto significa a realocação de uma parcela dos nutrientes dos tecidos

senescentes para os tecidos perenes, conforme o desenvolvimento da planta, o que leva a uma variação nos teores de nutrientes nos órgãos das plantas ao longo das estações do ano. A extensão da translocação depende principalmente da espécie, da estação do ano, da umidade, da fertilidade do solo, do manejo e da idade das plantas (PALM, 1995; REIS et al., 2006). O fenômeno da translocação influencia a qualidade do resíduo vegetal senescente e, conseqüentemente, na adoção de formas diferenciada de manejo das espécies nos sistemas em que estas estão inseridas.

Nos SAFs, o aporte de resíduos vegetais *"in situ"*, ocorre devido à queda natural de folhas, frutos, flores, galhos e devido às podas realizadas nas árvores. Este aporte de material contribui para os serviços ambientais provenientes dos SAFs, em especial, no que se refere a qualidade do solo aumentando a ciclagem de nutrientes e a proteção do mesmo. A camada de material formado diminui o impacto da chuva e da insolação e contribui para o aumento da permeabilidade, da manutenção da umidade do solo, melhorando com isto a capacidade produtiva do sistema.

Em solos de baixa fertilidade natural como as áreas alteradas ou degradadas, o uso de espécies nativas nos SAFs é desejado por sua capacidade de desenvolver mecanismos eficientes para lidar com alumínio trocável e com baixos níveis de nutrientes disponíveis, principalmente o N e o P, sabidamente deficientes nos agroecossistemas tropicais (KANMEGNE et al., 1999; RADERSMA, 2002). A grande diversidade genética de leguminosas existentes, com suas diversas associações simbióticas também podem potencializar a fixação de N₂ e, conseqüentemente, maximizar o acréscimo de N no solo nestes sistemas (HARDARSON; ATKINS, 2003).

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) por espécies arbóreas é muito difícil de ser quantificada, devido à natureza perene das árvores, influenciando na adaptabilidade e na nodulação resultante da interação entre a planta e o microssimbionte. Entretanto, por meio do método da abundância natural de ¹⁵N ($\delta^{15}\text{N}$) é possível fazer essa quantificação (BODDEY et al., 2000), podendo ser este método, aplicados em SAFs.

A técnica se baseia nos processos de transformação do N no solo. Tais processos discriminam o isótopo ^{15}N , o que ocasionam um leve enriquecimento deste isótopo no solo, quando comparado à composição isotópica do N_2 da atmosfera. A discriminação de ^{15}N ocorre no solo por causa das flutuações na abundância natural de N para a planta, por isso se utiliza uma planta referência não fixadora de N_2 , capaz de refletir a marcação média de ^{15}N do solo ao longo do desenvolvimento da planta fixadora de N_2 .

A contribuição da FBN é calculada comparando a abundância natural de ^{15}N da planta teste, que possui N do solo e N fixado do ar, com a planta referência, que possui o N do solo apenas. A premissa da técnica é a de que o N retirado do solo por ambas as plantas deve ter a mesma abundância natural de ^{15}N .

A hipótese deste estudo foi de que as espécies florestais presentes nos SAFs diferem em relação ao teor e translocação de nutrientes, e que as diferenças variam entre os órgãos das plantas e ao longo das estações do ano. Diante disso, os objetivos deste trabalho foram, ao longo de um ano, analisar os teores de nutrientes no material vegetal verde e senescente, verificar a realocação de nutrientes e quantificar o aporte de nutrientes pelos diferentes órgãos de sete espécies arbóreas utilizadas em SAFs na Zona da Mata mineira e quantificar a fixação biológica de nitrogênio nas espécies leguminosas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo e espécies estudadas

O estudo foi conduzido nos municípios de Araponga e Divino, ambos situados na região da Zona da Mata, sudeste de Minas Gerais, no bioma Mata Atlântica (Figura 1, Capítulo 1). A temperatura média da região é de 18 °C, precipitação anual variando de 1.200 a 1.800 mm, com um período seco de 2 a 4 meses. O relevo é montanhoso com declividade variando de 20 a 45 % nas encostas (GOLFARI, 1975). A classe de solos predominante é a dos Latossolos sendo portanto, solos profundos, bem drenados, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes (KER, 1995) em especial, o fósforo.

Em setembro de 2005 selecionaram-se, juntamente com os agricultores, as espécies arbóreas para este estudo as quais foram: *Persea americana* (abacate), *Luehea grandiflora* (açoita-cavalo), *Inga subnuda* (Ingá), *Zeyheria tuberculosa* (ipê-preto), *Senna macranthera* (fedegoso), *Erythrina verna* (mulungu), e *Aegiphila sellowiana* (papagaio). Quatro repetições (árvores) por espécie foram selecionadas ao acaso em um mesmo SAF. Em Araponga (20° 48' S e 42° 32' W) foram estudados o abacate e o papagaio (SAF 1), o ingá (SAF 2), o mulungu no (SAF 3) e o fedegoso no (SAF 4). Em Divino (20° 33' S e 42° 11' W), foram estudados o ipê-preto e o açoita-cavalo (SAF 5). Todos estes SAFs foram implantados em 1994, mas algumas espécies foram introduzidas em 1999 quando os sistemas foram redesenhadas⁶, desta forma, a idade das árvores no primeiro ano de coleta variou entre 7 e 10 anos. A identificação e a localização das espécies estudadas são apresentadas no Quadro 1, do capítulo 1.

2.2. Teor e conteúdo de nutrientes

Para determinar o conteúdo de nutrientes no material fresco e material senescente das espécies arbóreas, coletores de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) foram instalados a, aproximadamente, 0,6 m de altura do solo sob a copa das árvores, sendo utilizado um coletor por árvore. O material senescente interceptado pelos coletores foi mensalmente coletado no período de outubro de 2005 a setembro de 2006 e, acondicionados em sacolas de papel foram levados para o laboratório.

Durante o período de um ano, o material fresco das árvores foi coletado da posição mediana da copa com o auxílio de um podão. Colheu-se mensalmente por volta do dia 15 de cada mês, ramos com diâmetro aproximado de 3 cm, localizados nas posições norte, sul, leste e oeste da copa. Destes ramos foram separados: folhas com pecíolo (F), galhos finos, < 2 cm de diâmetro (GF), galhos grossos, > 2 cm de diâmetro (GG) e flores e frutos (FF). Estes materiais foram acondicionados em sacolas de papel e levados para o laboratório.

⁶ Termo usado para identificar a fase da experimentação de SAFs em que se avaliou coletivamente o manejo dos SAFs e optou-se pela eliminação de espécies consideradas pelos agricultores como incompatíveis com o café, ou de manejo desconhecido, e inserção de espécies consideradas como compatíveis e/ou de manejo conhecido, ou apenas pela redução do número de árvores nos SAFs.

No laboratório, ambos o material senescente e o material verde, separado em folhas, galhos finos, galhos grossos e estruturas reprodutivas (flores + frutos), foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas e em seguida foram pesados e moídos. O material amostrado mensalmente, de cada espécie, foi agrupado a cada três meses utilizando proporcionalmente a mesma quantidade em massa (g de MS) de material para formar uma amostra composta de acordo com as estações do ano (verão, outono, inverno e primavera).

Nestas amostras foram determinados os teores de nitrogênio (N), potássio (K), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu) e zinco (Zn). Para a determinação de N, utilizou-se o método Kjeldahl e os demais elementos foram analisados após digestão nítrico-perclórica. A determinação de P foi feita por colorimetria por meio da formação da cor azul do complexo da fosfato-molibdato em presença de ácido ascórbico conforme Braga & Defelipo (1974), a do K por fotometria de chama e as de Ca, Mg, Cu e Zn foram feitas por espectrofotometria de absorção atômica.

Em outubro de 2006, coletou-se material do tronco das árvores. A coleta foi feita a 1,30 m de altura do tronco da árvore com o auxílio de um trado de incremento, extraindo material da casca até o cerne da árvore. O material coletado foi levado à estufa e em seguida, pesado, e determinados os teores de K, P, Ca, Mg, Cu e Zn e N, segundo os métodos já citados.

Os teores de nutrientes no material verde e no material senescente foram comparados e foi avaliada a realocação de nutrientes de grande mobilidade nas espécies, bem como o acúmulo dos nutrientes pouco móveis ou imóveis nas espécies. O cálculo percentual da realocação foi feito considerando a diferença entre os teores de nutrientes no material verde e no material senescente das espécies. O conteúdo de nutrientes no material senescente aportado pelas espécies foi calculado pelo produto entre a quantidade de material aportado pelas espécies e os teores de nutrientes apresentados pelas espécies nas estações. Para extrapolar os valores para hectare, utilizou-se o número médio de cem árvores por hectare, como normalmente utilizado em SAFs da região (SOUZA, 2006).

O conteúdo de nutrientes no material verde, oriundo do desbaste das árvores, foi calculado com base na quantidade de material aportado, no teor médio de umidade do material verde (folha, flor e fruto, galho fino e galho grosso) da espécie e nos teores médios (folha, flor e fruto, galho fino e galho grosso) de nutrientes do material verde da espécie.

2.3. Fixação de N₂ atmosférico

Para avaliar a capacidade de fixação do N₂ pelas leguminosas arbóreas estudadas utilizou-se a técnica da abundância natural de ¹⁵N (PEOPLES et al., 1989). A percentagem de N₂ fixado pela leguminosa (% FBN) foi estimada pela fórmula:

$$\% \text{ FBN} = \frac{\delta^{15}\text{N}_{\text{referência}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{legume}}}{\delta^{15}\text{N}_{\text{referência}} - \text{B}}, \text{ onde:}$$

$\delta^{15}\text{N}_{\text{referência}}$ corresponde ao enriquecimento natural de uma espécie não fixadora de N₂; $\delta^{15}\text{N}_{\text{legume}}$ corresponde ao enriquecimento natural da leguminosa avaliada no sistema, e B é a abundância natural de ¹⁵N ($\delta^{15}\text{N}$) da leguminosa cultivada sob dependência exclusiva de N₂. Este valor de B é obtido a partir das leguminosas noduladas, crescidas em meio livre de N inorgânico em casa de vegetação.

Para o presente estudo as amostragens foram realizadas durante a segunda quinzena de janeiro de 2006. Espécies espontâneas presentes no sistema foram utilizadas como plantas não fixadora de N₂. Para isso nas proximidades das árvores, coletou-se folhas maduras de cinco plantas de picão (*Bidens pilosa*) e toda a parte aérea de capim marmelada (*Brachiaria plantaginea*). As amostras foram agrupadas formando uma amostra composta por espécie.

A amostragem das leguminosas (ingá, mulungu e fedegoso) foi realizada na posição mediana da copa, nas disposições norte, sul, leste e oeste, de quatro árvores de cada espécie (repetições). Utilizou-se para coleta um podão adaptado a uma vara. Coletou-se folhas (folha + pecíolo) fisiologicamente maduras (4º par de folhas

no ramo), caracterizadas pelo limbo totalmente expandido e sem indícios de senescência ou necrose.

Os materiais das leguminosas e das plantas referência foram acondicionados em sacos de papel e levados para o laboratório, seco em estufa de circulação forçada de ar a 65° C por 72 horas, em seguida, moídos, triturados em moinho de bola e analisados os teores de ¹⁵N em espectrômetro de massa (SERCON, modelo ANCA GLS 20.20).

Utilizou-se valor de “B” de -1,3 ‰ determinado em tecidos aéreos da espécie *Prosopis glandulosa* por SHEARER et al. (1983) e utilizado por TEIXEIRA et al. (2006). O valor de “B” é raramente determinado para espécies arbóreas.

Estimou-se a FBN por árvore, por meio do cálculo da produção de biomassa aérea das árvores pelo método de amostragem não destrutiva, utilizando a equação:

$Y = 38,4908 - 11,7883 \times DAP + 1,1926 \times DAP^2$ (BROWN et al., 1989), sendo: Y, a produção de biomassa aérea (kg de MS árvore⁻¹); DAP, o diâmetro a altura do peito (cm) das árvores, medido com o auxílio de uma fita métrica em outubro de 2005 e outubro de 2006.

Para estimar a FBN por hectare tomou-se como padrão, 100 árvores ha⁻¹. Os teores de N utilizado no cálculo das quantidades de N total na biomassa foram obtidos para cada repetição utilizando-se a média dos teores apresentados nas diferentes partes aéreas da planta (folha, estrutura reprodutiva (flor + fruto), galho fino, galho grosso, e tronco das espécies analisadas).

2.4. Análise dos dados

Realizou-se a análise estatística descritiva dos dados sendo apresentados os valores médios e o erro padrão da média. As quantidades de nutrientes no material senescente das espécies foram analisadas efetuando-se a análise de variância e seguidas de comparação planejada (planned comparisons) para testar as diferenças entre médias utilizando o software Statistica (STAT SOFT INC., 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teores de nutrientes no material da parte aérea das espécies

Os quadros 6 a 12 mostram os teores de N, P, K, Ca, Mg Cu e Zn, em folhas (F), Galhos finos (GF), Galhos Grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente das espécies estudadas de acordo com a estação climática, discutidos a seguir. Ocorreu variação entre os teores de nutrientes entre as espécies, órgãos da planta e estações do ano, tanto no material verde quanto no material senescente. Entretanto não foram feitas estatísticas para os teores, sendo analisados estatisticamente apenas os conteúdos de nutrientes aportados aos SAFs.

No material verde, as espécies apresentaram os teores dos nutrientes na seguinte ordem: nitrogênio (N) > potássio (K) > cálcio (Ca) > magnésio (Mg) > fósforo (P) > zinco (Zn) > cobre (Cu). Resultados similares foram encontrados por CALDEIRA et al. (2000), avaliando os teores de nutrientes na biomassa de *Acacia mearnsii*. No material senescente das espécies, durante o mesmo período os teores de nutrientes apresentaram a ordem: N > Ca > K > Mg > P > Zn > Cu.

No material verde e no material senescente das espécies, ocorreu uma inversão na posição do K em relação ao Ca. Tal fato deve-se à alta redistribuição interna do K nos tecidos das plantas antes da senescência do material, enquanto o Ca apresenta muito baixa redistribuição, acumulando-se no material senescente. O K encontra-se na forma de íons nos tecidos da planta e o Ca forma compostos altamente recalcitrantes como a lignina que compõe a parede celular, não sendo redistribuído para tecidos da planta em crescimento (MALAVOLTA, 1980).

Os mais altos teores de N (dag kg^{-1} , Quadro 6) em folhas verdes (média do ano) foram observados no papagaio (3,82), mulungu (3,67), fedegoso (3,63) e ingá (3,17).

Nitrogênio

Quadro 6: Teores de Nitrogênio (N) em folhas (F), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente de árvores usadas em SAFs na Zona da Mata - MG de acordo com a estação climática. Entre parêntese é apresentado o erro padrão (n = 4).

Estação	Teores de N no material vegetal verde				Teores de N no material senescente			
	F	FF	GF	GG	F	FF	GF	GG
.....dag kg ⁻¹								
Abacate								
Primavera	2,10 (0,08)	1,87 (0,34)	0,77 (0,09)	0,54 (0,06)	1,26 (0,07)	2,64 (0,39)	0,77 (0,09)	-
Outono	2,16 (0,09)	1,35	0,75 (0,10)	0,52 (0,06)	1,18 (0,19)	1,41 (0,51)	0,56	-
Inverno	2,10 (0,04)	-	0,54 (0,05)	0,43 (0,06)	0,98 (0,08)	-	1,07	-
Verão	1,83 (0,13)	1,98 (0,09)	0,52 (0,03)	0,45 (0,09)	1,10 (0,19)	2,41 (0,14)	0,68 (0,05)	-
Média ¹	2,05	1,73	0,64	0,49	1,13	2,15	0,77	-
Açoita – cavalo								
Primavera	2,62 (0,23)	1,45 (0,03)	1,02 (0,09)	0,75 (0,05)	1,82 (0,16)	1,16 (0,05)	1,11 (0,15)	0,51
Outono	2,49 (0,13)	-	0,96 (0,08)	0,81 (0,08)	1,75 (0,18)	1,99 (0,10)	1,03 (0,12)	-
Inverno	0,93 (0,19)	1,80 (0,34)	0,41 (0,02)	0,69 (0,06)	1,53 (0,10)	2,16 (0,13)	0,95 (0,05)	-
Verão	2,02 (0,09)	1,31 (0,10)	0,79 (0,08)	0,66 (0,07)	1,44 (0,09)	1,69 (0,23)	1,06 (0,13)	-
Média	2,02	1,52	0,79	0,73	1,64	1,75	1,04	0,51
Mulungu								
Primavera	2,74 (0,01)	-	1,81 (0,12)	1,55 (0,12)	2,83 (0,06)	-	1,81	-
Outono	4,31 (0,12)	-	1,65 (0,16)	1,25 (0,10)	2,58 (0,37)	-	1,50	-
Inverno	4,17 (0,24)	-	1,31 (0,09)	1,16 (0,14)	2,56 (0,40)	-	-	-
Verão	3,45 (0,25)	-	1,61 (0,14)	1,24 (0,05)	1,87 (0,16)	-	1,22	-
Média	3,67	-	1,60	1,30	2,46	-	1,51	-
Fedegoso								
Primavera	4,57 (0,11)	2,54 (0,06)	1,29 (0,03)	0,74 (0,10)	2,27 (0,10)	2,32 (0,21)	1,45	-
Outono	3,73 (0,14)	3,20 (0,08)	0,99 (0,05)	0,67 (0,05)	2,36 (0,16)	2,55 (0,46)	1,86 (0,64)	1,07
Inverno	3,37 (0,08)	2,88 (0,11)	0,89 (0,17)	0,64 (0,10)	2,15 (0,12)	2,60 (0,21)	1,31 (0,04)	-
Verão	2,84 (0,08)	1,84 (0,05)	0,66 (0,08)	0,49 (0,07)	2,05 (0,13)	2,00 (0,15)	1,20 (0,16)	-
Média	3,63	2,61	0,96	0,64	2,21	2,37	1,46	1,07
Ingá								
Primavera	3,42 (0,11)	2,48 (0,14)	1,52 (0,08)	0,82 (0,06)	2,33 (0,10)	2,48 (0,18)	1,68 (0,18)	-
Outono	3,20 (0,09)	-	1,05 (0,08)	0,76 (0,10)	2,18 (0,09)	1,82 (0,25)	1,75 (0,35)	-
Inverno	3,10 (0,09)	-	1,00 (0,04)	0,75 (0,03)	2,04 (0,08)	-	0,86 (0,02)	-
Verão	2,96 (0,08)	2,59 (0,12)	0,83 (0,04)	0,69 (0,08)	2,01 (0,07)	2,50 (0,08)	1,07 (0,12)	-
Média	3,17	2,54	1,10	0,75	2,14	2,27	1,34	-
Ipê-preto								
Primavera	2,75 (0,14)	-	1,28 (0,02)	0,85 (0,07)	2,73 (0,29)	-	1,27 (0,08)	-
Outono	2,60 (0,15)	-	1,17 (0,08)	0,70 (0,01)	2,38 (0,26)	-	-	-
Inverno	1,38 (0,04)	-	0,50 (0,04)	0,56 (0,08)	1,87 (0,39)	0,90	0,94	-
Verão	2,21 (0,07)	1,05	0,91 (0,07)	0,63 (0,05)	1,27 (0,18)	1,81	1,04	-
Média	2,24	1,05	0,97	0,68	2,06	1,35	1,08	-
Papagaio								
Primavera	4,52 (0,25)	-	1,79 (0,15)	1,17 (0,09)	3,25 (0,44)	-	1,45	-
Outono	4,22 (0,18)	-	1,30 (0,07)	3,41 (2,52)	2,64 (0,23)	1,22	-	-
Inverno	3,66 (0,14)	-	0,80 (0,05)	0,41 (0,14)	1,91 (0,31)	-	1,19	-
Verão	2,88 (0,15)	2,20	0,98 (0,04)	1,03 (0,12)	2,14 (0,18)	-	-	-
Média	3,82	2,20	1,22	1,51	2,48	1,22	1,32	-

¹ Média dos teores de N no ano.

Nas folhas do material senescente os maiores teores foram apresentados pelas mesmas espécies, porém com valores bem inferiores, sendo o Papagaio com 2,48; mulungu com 2,46; fedegoso com 2,21 e ingá com 2,14 dag kg⁻¹. O N é um elemento que apresenta alta redistribuição interna nos tecidos vegetais, como compostos orgânicos (MALAVOLTA, 1980) apresentando, portanto, teores inferiores nas folhas do material senescente.

O fedegoso, o Ingá e o mulungu pertencem à família *leguminosae*, sendo que as duas últimas espécies apresentam nodulação e fixam biologicamente o nitrogênio atmosférico (SPRENT, 2001), já o fedegoso não apresenta nodulação (BARBERI et al.,1998; FARIA et al.,1984) valores altos de N, nos tecidos de leguminosas que nodulam são então esperados. Entretanto, os altos teores apresentados pelo papagaio chegando a 4,5 dag kg⁻¹ nas folhas, durante a primavera levam à hipótese de que a espécie apresenta algum tipo de associação permitindo tal eficiência na aquisição do nutriente de outras fontes que não o solo e por isto merece estudos futuros mais aprofundados.

As mais altas taxas de realocação de N foram observadas em folhas do abacate (45%), do fedegoso (39%) e do papagaio (35%), entretanto todas as espécies apresentaram realocação de N nas folhas. A menor realocação (8%) foi apresentada pelo ipê preto. Os teores de N variam de acordo com o órgão da planta avaliado.

Em relação aos teores de N nos diferentes órgãos da planta, no material verde os maiores teores de N são encontrados nas folhas, seguida pelas estruturas reprodutivas, galhos finos e galhos grossos. Para o mulungu, não foi possível avaliar os teores de N nas suas estruturas reprodutivas (a espécie não havia atingido o seu estágio reprodutivo).

No material senescente da maioria das espécies (abacate, fedegoso, ingá, e açoita-cavalo) os teores de N nas estruturas reprodutivas foram mais elevados, seguidos pelas folhas e galhos finos. Nas flores e frutos estes teores variaram nas estações, em função do seu estágio de desenvolvimento e maturação. O N é um elemento que compõe a estrutura de aminoácidos, proteínas, enzimas e coenzimas (RAIJ, 1991), sendo encontrado em maiores proporções em brotos, folhas novas, gemas e em sementes e órgão de armazenamento da planta (RAIJ, 1991).

Os teores de N nas folhas variaram também de acordo com as estações do ano para cada espécie, o que acontece em respostas às diferentes necessidades nutricionais das espécies, em função das variações climáticas que acontecem ao longo das estações influenciando no desenvolvimento das plantas. Os mais altos teores foram observados na primavera para a maioria das espécies, tanto no material verde (açoita-cavalo, fedegoso, ingá, ipê-preto e papagaio) quanto no material senescente (abacate, açoita-cavalo, mulungu, ingá, ipê-preto e papagaio). Já os menores teores de N foram verificados principalmente no verão tanto para o material verde quanto senescente.

Fósforo

Os teores de P (Quadro 7) variaram de acordo com as espécies, tanto no material verde, quanto no material senescente. As espécies que apresentaram os mais altos teores de P (dag kg^{-1}) em folhas verdes (média do ano) foram o mulungu (0,20); o papagaio e o fedegoso (0,19). Nas folhas do material senescente os maiores teores foram apresentados pelo mulungu (0,11), ipê-preto (0,09), papagaio (0,09) e fedegoso.

O P apresenta alta redistribuição nos tecidos internos (MALAVOLTA, 1980) sendo, portanto, realocado de tecidos velhos para tecidos novos da planta. Neste estudo a realocação de P foi observada em folhas de todas as espécies avaliadas sendo as maiores taxas verificadas para o abacate (75%), o fedegoso (58%), o ingá (57%), o papagaio (53%) e o mulungu (45%). A menor taxa (18%) foi apresentada pelo ipê preto.

Os maiores teores de P são encontrados nas estruturas reprodutivas tanto no material verde quanto no material senescente de maioria das espécies, exceto para o papagaio, o mulungu e o ipê-preto cujas estruturas foram ausentes ou quase ausentes em seu material, a seguir nas folhas. Os teores de P em folhas são mais elevados que nos galhos finos e nos galhos grossos. O P é um elemento que está ligado à síntese e armazenamento de energia para o metabolismo das células sendo portanto, um nutriente que se acumula mais em órgãos reprodutivos do que vegetativos das plantas (RAIJ, 1991).

Quadro 7: Teores de Fósforo (P) em folhas (F), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente de árvores usadas em SAFs na Zona da Mata - MG de acordo com a estação climática. Entre parêntese é apresentado o erro padrão (n = 4).

Estação	Teores de P no material vegetal verde				Teores de P no material senescente			
	F	FF	GF	GG	F	FF	GF	GG
.....dag kg ⁻¹								
Abacate								
Primavera	0,12 (0,01)	0,22 (0,04)	0,11 (0,02)	0,05	0,05 (0,01)	0,20 (0,01)	0,05 (0,01)	-
Outono	0,34 (0,24)	0,17	0,08	0,05	0,06 (0,01)	0,12 (0,05)	0,03 (0,01)	-
Inverno	0,11		0,05	0,05	0,04	0,16	0,05 (0,02)	-
Verão	0,09 (0,01)	0,16	0,04	0,04	0,03	0,15 (0,03)	0,04	-
Média ¹	0,16	0,18	0,07	0,05	0,04	0,16	0,04	-
Açoita – cavalo								
Primavera	0,20 (0,02)	0,08	0,08	0,05	0,08 (0,01)	0,05 (0,01)	0,04 (0,01)	0,02
Outono	0,12 (0,01)	-	0,06	0,05	0,07 (0,01)	0,13 (0,01)	0,04 (0,01)	-
Inverno	0,05	0,17 (0,03)	0,03	0,08 (0,02)	0,06	0,17 (0,01)	0,06 (0,02)	-
Verão	0,10	0,16 (0,01)	0,05	0,04	0,05	0,16 (0,03)	0,04	-
Média	0,12	0,14	0,05	0,05	0,07	0,12	0,04	0,02
Mulungu								
Primavera	0,15	-	0,14 (0,01)	0,13 (0,01)	0,13 (0,01)	-	0,08	-
Outono	0,26 (0,03)	-	0,16 (0,02)	0,27 (0,14)	0,14 (0,04)	-	0,08	-
Inverno	0,20 (0,02)	-	0,15 (0,01)	0,10 (0,01)	0,10 (0,03)	-	-	-
Verão	0,19 (0,01)	-	0,11	0,09 (0,01)	0,07	-	0,07	-
Média	0,20	-	0,14	0,15	0,11	-	0,08	-
Fedegoso								
Primavera	0,30 (0,02)	0,23 (0,01)	0,11 (0,01)	0,05 (0,01)	0,09 (0,01)	0,15 (0,04)	0,06 (0,01)	-
Outono	0,18 (0,01)	0,29 (0,01)	0,11 (0,01)	0,05 (0,01)	0,09	0,21 (0,01)	0,06 (0,01)	0,03
Inverno	0,17	0,25 (0,01)	0,08 (0,02)	0,05 (0,01)	0,07 (0,01)	0,15 (0,04)	0,09 (0,02)	-
Verão	0,13	0,20 (0,02)	0,04	0,03	0,07	0,14 (0,03)	0,04 (0,01)	-
Média	0,19	0,24	0,08	0,05	0,08	0,16	0,06	0,03
Ingá								
Primavera	0,17 (0,01)	0,20 (0,02)	0,10 (0,01)	0,05 (0,01)	0,06 (0,01)	0,11 (0,01)	0,12 (0,05)	-
Outono	0,14	-	0,06	0,22 (0,17)	0,07 (0,01)	0,10 (0,01)	0,13 (0,07)	-
Inverno	0,14	-	0,05 (0,01)	0,04	0,06 (0,01)	0,19 (0,04)	0,03 (0,02)	-
Verão	0,14 (0,01)	0,19 (0,01)	0,04	0,04 (0,01)	0,05	0,12 (0,01)	0,03 (0,01)	-
Média	0,15	0,19	0,06	0,09	0,06	0,13	0,08	-
Ipê-preto								
Primavera	0,16 (0,02)	-	0,14 (0,01)	0,09	0,10 (0,01)	-	0,05 (0,02)	-
Outono	0,13 (0,01)	-	0,11 (0,01)	0,08 (0,02)	0,10 (0,01)	-	-	-
Inverno	0,06	-	0,06 (0,01)	0,05 (0,01)	0,10 (0,01)	0,03	0,03	-
Verão	0,09 (0,01)	0,13	0,09 (0,02)	0,05 (0,01)	0,05	0,18	0,04	-
Média	0,11	0,13	0,10	0,07	0,09	0,10	0,04	-
Papagaio								
Primavera	0,25 (0,01)	-	0,22 (0,02)	0,12 (0,01)	0,12 (0,03)	-	0,07	-
Outono	0,20 (0,01)	-	0,15 (0,01)	0,12 (0,01)	0,09 (0,01)	0,07	-	-
Inverno	0,16 (0,01)	-	0,06	0,05 (0,01)	0,07 (0,01)	-	0,06	-
Verão	0,15 (0,02)	0,17	0,07 (0,01)	0,06 (0,01)	0,06 (0,01)	-	0,07	-
Média	0,19	0,17	0,12	0,09	0,09	0,07	0,07	-

¹ Média dos teores de P no ano.

Para a maioria das espécies (açoita-cavalo, ingá, fedegoso, ipê-preto e papagaio) os mais altos teores de P no material verde foram observados na primavera e os mais baixos foram encontrados no verão. No material senescente, cinco espécies (abacate, mulungu, fedegoso, ingá e ipê-preto) apresentam os mais altos teores de P no outono. Já os menores teores no material senescente são apresentados principalmente no verão para todas as espécies estudadas.

Potássio

Os teores de K (Quadro 8) variaram entre as espécies, tanto no material verde quanto no material senescente. As espécies que apresentaram os mais altos teores de K (dag kg^{-1}) em folhas verdes (média do ano) foram o mulungu (1,54); o fedegoso (1,23); e o ipê-preto (1,20). Nas folhas do material senescente os maiores teores foram apresentados pelo ipê-preto (1,32) e o mulungu (0,77). As mais altas taxas de realocação de K nas folhas das espécies foram observadas para o papagaio (59%), o fedegoso (56%), o abacate (55%) e o mulungu (50%). Na maioria das espécies avaliadas observou-se a realocação de K, entretanto, um comportamento diferenciado foi verificado para o K em folhas do material senescente do ipê-preto, cujos teores de K foram mais elevados do que em folhas verdes em duas estações.

O K apresenta alta taxa de redistribuição interna nos tecidos das plantas, já que se encontra na forma iônica (forma livre) nos tecidos vegetais (Malavolta, 1980). Para as quatro espécies (abacate, açoita-cavalo, fedegoso e ingá) em que foram amostradas as estruturas reprodutivas (flores e frutos) de forma significativa, os teores de K (dag kg^{-1}) nessas estruturas foram mais elevados do que em folhas tanto no material verde quanto no material senescente.

Os teores de K variaram também de acordo com as estações do ano para cada espécie. Os mais altos teores observados em folhas do material verde de maioria das espécies (abacate, açoita-cavalo, fedegoso, ingá e papagaio) aconteceram na primavera. Quanto ao material senescente, os maiores teores foram observados no inverno para o açoita-cavalo, fedegoso, ingá, ipê-preto e papagaio e os mais baixos foram observados na primavera pela maioria das espécies, exceto o papagaio.

Quadro 8: Teores de Potássio (K) em folhas (F), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente de árvores usadas em SAFs na Zona da Mata - MG de acordo com a estação climática. Entre parêntese é apresentado o erro padrão (n = 4).

Estação	Teores de K no material vegetal verde				Teores de K no material senescente			
	F	FF	GF	GG	F	FF	GF	GG
.....dag kg ⁻¹								
Abacate								
Primavera	0,93 (0,08)	2,11 (0,11)	0,89 (0,14)	0,56 (0,10)	0,28 (0,06)	1,69 (0,38)	0,88 (0,33)	-
Outono	0,90 (0,09)	1,77	0,75 (0,06)	0,49 (0,05)	0,48 (0,09)	1,21 (0,54)	0,39 (0,19)	-
Inverno	0,92 (0,07)	-	0,61 (0,05)	0,52 (0,04)	0,42 (0,04)	1,33	0,31 (0,16)	-
Verão	0,89 (0,07)	1,51 (0,07)	0,50 (0,04)	0,37 (0,05)	0,44 (0,04)	1,01 (0,16)	0,80 (0,14)	-
Média ¹	0,91	1,79	0,69	0,49	0,41	1,31	0,59	-
Açoiá – cavalo								
Primavera	1,41 (0,13)	0,97 (0,26)	1,42 (0,12)	0,83 (0,04)	0,43 (0,02)	0,98 (0,08)	0,69 (0,23)	0,69
Outono	1,20 (0,05)	-	1,23 (0,05)	0,81 (0,05)	0,56 (0,06)	1,01 (0,12)	0,92 (0,22)	-
Inverno	0,54 (0,03)	1,41 (0,36)	0,54 (0,05)	0,86 (0,03)	0,71 (0,15)	1,35 (0,14)	0,73 (0,07)	-
Verão	1,18 (0,16)	1,55 (0,07)	1,13 (0,11)	0,87 (0,03)	0,61 (0,03)	1,46 (0,14)	0,96 (0,12)	-
Média	1,08	1,31	1,08	0,84	0,58	1,20	0,83	0,69
Mulungu								
Primavera	1,16 (0,17)	-	0,81 (0,12)	0,68 (0,11)	0,18 (0,01)	-	0,17	-
Outono	2,12 (0,23)	-	1,30 (0,38)	0,63 (0,12)	0,66 (0,20)	-	0,11	-
Inverno	1,46 (0,13)	-	0,97 (0,16)	0,84 (0,14)	1,09 (0,35)	-	-	-
Verão	1,43 (0,26)	-	0,72 (0,09)	0,70 (0,10)	1,16 (0,12)	-	0,83	-
Média	1,54	-	0,95	0,71	0,77	-	0,37	-
Fedegoso								
Primavera	1,58 (0,12)	1,07 (0,06)	0,76 (0,06)	0,37 (0,04)	0,28 (0,04)	0,34 (0,05)	0,12 (0,03)	-
Outono	1,44 (0,22)	2,00 (0,33)	0,71 (0,05)	0,41 (0,06)	0,43 (0,04)	0,70 (0,04)	0,42 (0,19)	0,07
Inverno	0,98 (0,06)	1,67 (0,03)	0,67 (0,08)	0,47 (0,02)	1,01 (0,21)	1,80 (0,14)	1,92 (0,59)	-
Verão	0,91 (0,06)	1,31 (0,05)	0,52 (0,07)	0,41 (0,03)	0,44 (0,07)	0,97 (0,05)	0,39 (0,16)	-
Média	1,23	1,51	0,66	0,42	0,54	0,95	0,71	0,07
Ingá								
Primavera	0,93 (0,04)	1,70 (0,13)	1,01 (0,09)	0,56 (0,08)	0,42 (0,04)	0,75 (0,32)	0,59 (0,20)	-
Outono	0,80 (0,04)	-	0,85 (0,07)	0,51 (0,04)	0,61 (0,09)	0,73 (0,14)	0,97 (0,55)	-
Inverno	0,82 (0,04)	-	0,71 (0,14)	0,49 (0,06)	1,08 (0,04)	1,97 (0,14)	0,67 (0,38)	-
Verão	0,92 (0,08)	1,38 (0,08)	0,70 (0,15)	0,59 (0,16)	0,54 (0,04)	0,81 (0,02)	0,39 (0,16)	-
Média	0,87	1,54	0,82	0,54	0,67	1,07	0,65	-
Ipê-preto								
Primavera	1,30 (0,15)	-	1,87 (0,06)	0,66 (0,05)	0,44 (0,14)	-	0,21 (0,17)	-
Outono	1,52 (0,16)	-	1,48 (0,15)	0,77 (0,08)	0,88 (0,31)	-	-	-
Inverno	0,74 (0,04)	-	0,57 (0,01)	0,60 (0,07)	2,62 (0,68)	0,08	0,17	-
Verão	1,24 (0,14)	1,41	0,98 (0,07)	0,65 (0,07)	1,36 (0,42)	1,68	0,13	-
Média	1,20	1,41	1,22	0,67	1,32	0,88	0,17	-
Papagaio								
Primavera	1,28 (0,05)	-	2,18 (0,19)	1,26 (0,25)	0,33 (0,10)	-	0,08	-
Outono	1,08 (0,06)	-	1,41 (0,20)	1,02 (0,16)	0,16 (0,04)	0,19	-	-
Inverno	0,79 (0,04)	-	0,67 (0,06)	0,43 (0,21)	0,69 (0,30)	-	0,52	-
Verão	1,02 (0,19)	1,86	0,72 (0,10)	0,65 (0,05)	0,55 (0,06)	-	0,43	-
Média	1,04	1,86	1,24	0,84	0,43	0,19	0,34	-

¹ Média dos teores de K no ano.

Cálcio

Os teores de Ca (Quadro 9) variaram entre as espécies, tanto no material verde quanto no material senescente. As espécies que apresentaram os mais altos teores de Ca (dag kg^{-1}) em folhas verdes (média do ano) foram o abacate (1,35), o papagaio (1,27), o mulungu (1,21) e o fedegoso (1,18). O ipê-preto apresentou o menor teor de Ca (0,50) nas folhas do material verde. Nas folhas do material senescente os maiores teores foram apresentados pelo abacate (1,94) e pelo papagaio (1,88) e os menores teores permaneceram para o ipê-preto (0,80).

Os maiores teores de Ca foram encontrados no material senescente, mais especificamente, nas folhas e galhos finos presentes nesse material. O Ca apresenta muito baixa redistribuição nos tecidos vegetais (RAIJ, 1991) acumulando-se em tecidos mais velhos. Esse comportamento foi verificado para todas as espécies quando se avaliou os teores de Ca em folhas, estruturas reprodutivas e galhos finos do material verde e do material senescente. No material verde os teores mais altos foram observados em folhas e galhos finos e os menores teores foram observados nos galhos grossos. Nas flores e frutos os teores de Ca foram menores do que nos galhos grossos para a maioria das espécies, entretanto, não foi possível amostrar flores e frutos em todas as espécies.

O Ca é um nutriente que tem a função de ativador de enzimas, faz parte da parede celular vegetal sendo responsável pela lignificação desta estrutura, constituindo-se num dos compostos mais recalcitrantes dos tecidos vegetais (MALAVOLTA, 1980). É encontrado, principalmente, em folhas mais velhas e cascas de árvores.

Os teores de Ca variaram também de acordo com as estações do ano para cada espécie. Os maiores teores de Ca foram verificados na primavera e no verão (outubro a março) e os menores no outono inverno (abril a setembro).

Quadro 9: Teores de Cálcio (Ca) em folhas (F), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente de árvores usadas em SAFs na Zona da Mata - MG de acordo com a estação climática. Entre parêntese apresenta-se o erro padrão (n = 4).

Estação	Teores de Ca no material vegetal verde				Teores de Ca no material senescente			
	F	FF	GF	GG	F	FF	GF	GG
.....dag kg ⁻¹								
Abacate								
Primavera	1,19 (0,22)	0,15 (0,06)	1,22 (0,13)	0,78 (0,14)	2,14 (0,15)	0,52 (0,18)	1,32 (0,41)	-
Outono	1,51 (0,43)	0,15	1,33 (0,20)	0,67 (0,12)	1,74 (0,14)	1,01 (0,49)	0,94 (0,54)	-
Inverno	1,34 (0,12)	-	0,99 (0,13)	0,47 (0,02)	2,00 (0,40)	0,10	1,72 (0,59)	-
Verão	1,36 (0,05)	0,44 (0,07)	0,97 (0,16)	0,49 (0,08)	1,87 (0,15)	0,69 (0,06)	1,91 (0,36)	-
Média ¹	1,35	0,25	1,13	0,60	1,94	0,58	1,47	-
Açoita – cavalo								
Primavera	0,93 (0,12)	0,39 (0,09)	1,84 (0,19)	1,46 (0,24)	1,56 (0,21)	1,4 (0,82)	2,08 (0,54)	0,95
Outono	1,24 (0,18)	-	1,74 (0,18)	1,84 (0,31)	1,19 (0,15)	0,65 (0,19)	1,87 (0,29)	-
Inverno	0,70 (0,08)	0,26 (0,04)	0,66 (0,08)	1,25 (0,12)	1,69 (0,18)	0,76 (0,31)	1,73 (0,51)	-
Verão	1,31 (0,32)	0,31 (0,03)	1,41 (0,22)	0,93 (0,10)	1,90 (0,15)	0,53 (0,11)	2,20 (0,25)	-
Média	1,04	0,32	1,41	1,37	1,58	0,84	1,97	0,95
Mulungu								
Primavera	1,35 (0,07)	-	1,51 (0,37)	0,88 (0,22)	1,61 (0,22)	-	2,56	-
Outono	0,86 (0,16)	-	1,17 (0,27)	1,00 (0,21)	1,38 (0,49)	-	2,50	-
Inverno	1,37 (0,31)	-	0,72 (0,13)	0,70 (0,16)	1,00 (0,50)	-	-	-
Verão	1,27 (0,36)	-	0,89 (0,22)	0,65 (0,16)	1,66 (0,26)	-	2,23	-
Média	1,21	-	1,08	0,81	1,41	-	2,43	-
Fedegoso								
Primavera	1,00 (0,06)	0,61 (0,08)	1,40 (0,40)	0,52 (0,05)	1,53 (0,31)	1,11 (0,11)	1,14 (0,24)	-
Outono	1,06 (0,11)	0,26 (0,03)	0,78 (0,02)	0,55 (0,07)	1,52 (0,12)	0,57 (0,06)	0,96 (0,28)	1,29
Inverno	1,26 (0,11)	0,43 (0,02)	0,70 (0,12)	0,56 (0,07)	1,16 (0,30)	0,83 (0,10)	1,64 (0,21)	-
Verão	1,40 (0,16)	0,36 (0,04)	0,53 (0,04)	0,37 (0,07)	1,73 (0,16)	0,48 (0,05)	0,83 (0,13)	-
Média	1,18	0,42	0,85	0,50	1,49	0,75	1,14	1,29
Ingá								
Primavera	0,54 (0,07)	0,30 (0,05)	0,87 (0,06)	0,61 (0,04)	1,07 (0,11)	0,51 (0,22)	1,15 (0,48)	-
Outono	0,70 (0,09)	-	0,72 (0,11)	0,58 (0,04)	0,98 (0,12)	0,30 (0,01)	0,76 (0,06)	-
Inverno	0,83 (0,13)	-	0,72 (0,03)	0,58 (0,04)	0,77 (0,12)	1,44 (0,39)	1,03 (0,23)	-
Verão	0,78 (0,12)	0,38 (0,03)	0,68 (0,04)	0,56 (0,04)	1,13 (0,18)	0,79 (0,08)	1,61 (0,36)	-
Média	0,71	0,34	0,75	0,58	0,99	0,76	1,14	-
Ipê-preto								
Primavera	0,48 (0,08)	-	0,74 (0,04)	0,61 (0,08)	0,97 (0,33)	-	1,09 (0,37)	-
Outono	0,48 (0,06)	-	0,65 (0,05)	0,60 (0,05)	0,56 (0,06)	-	-	-
Inverno	0,32 (0,03)	-	0,30 (0,05)	0,43 (0,08)	0,92 (0,40)	0,87	0,81	-
Verão	0,74 (0,02)	0,07	0,65 (0,06)	0,46 (0,05)	0,74 (0,09)	0,09	0,80	-
Média	0,50	0,07	0,59	0,52	0,80	0,48	0,90	-
Papagaio								
Primavera	1,21 (0,11)	-	0,91 (0,06)	0,47 (0,09)	2,09 (0,07)	-	0,99	-
Outono	1,07 (0,15)	-	0,52 (0,08)	0,33 (0,06)	1,93 (0,23)	0,89	-	-
Inverno	1,42 (0,13)	-	0,52 (0,07)	0,17 (0,05)	1,76 (0,34)	-	0,40	-
Verão	1,38 (0,11)	0,69	0,44 (0,08)	0,35 (0,03)	1,74 (0,20)	-	0,84	-
Média	1,27	0,69	0,60	0,33	1,88	0,89	0,74	-

¹ Média dos teores de Ca no ano.

Magnésio

Os teores de Magnésio (Mg, Quadro 10) variaram entre as espécies, tanto no material verde quanto no material senescente. As espécies que apresentaram os mais altos teores de Mg (dag kg^{-1}) em folhas verdes (média do ano) foram o papagaio (0,46), o abacate (0,30) e o mulungu (0,28). Nas folhas do material senescente os maiores teores foram apresentados pelo papagaio com 0,47 e o abacate com 0,39. Os mais baixos teores de Mg foram observados para o ingá e para o fedegoso tanto no material verde (0,11 para o ingá e 0,13 para o fedegoso) quanto no material senescente (0,11 para o ingá e 0,15 para o fedegoso).

O Mg é encontrado nas plantas em complexos quelados, e faz parte da molécula da clorofila, além de atuar como ativador enzimático na respiração, na síntese de proteínas e outras reações. Esse nutriente acumula-se principalmente em folhas novas e apresenta média redistribuição interna nos tecidos vegetais, entretanto, é comum o acúmulo deste nutriente em tecidos vegetais mais velhos (MALAVOLTA, 1980), conforme verificado neste estudo onde, os maiores teores de Mg no material senescente foram observados principalmente em galhos finos e em folhas. No material verde os teores foram mais elevados em folhas de maioria das espécies quando comparados aos demais órgãos da planta avaliados. A exceção foi para o ipê-preto que apresentou os teores de Mg nos galhos finos mais elevados do que nas folhas. Galhos finos no geral apresentaram maior teor de Mg que os galhos grossos. No material senescente os maiores teores de Mg foram verificados em galhos finos, para a maioria das espécies.

Os teores de Mg variaram também de acordo com as estações do ano para cada espécie. Os mais altos teores foram observados no inverno para a maioria das espécies, tanto no material verde (abacate, mulungu, fedegoso e papagaio) quanto no material senescente (abacate, açoita-cavalo, mulungu e fedegoso). Os menores teores no material verde variaram muito de acordo com a espécie e estação. Já no material senescente, o açoita-cavalo, o mulungu, o fedegoso e o ipê-preto apresentaram os menores teores na primavera.

Quadro 10: Teores de Magnésio (Mg) em folhas (F), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente de árvores usadas em SAFs na Zona da Mata - MG de acordo com a estação climática. Entre parêntese é apresentado o erro padrão (n = 4).

Estação	Teores de Mg no material vegetal verde				Teores de Mg no material senescente			
	F	FF	GF	GG	F	FF	GF	GG
.....dag kg ⁻¹								
Abacate								
Primavera	0,28 (0,04)	0,13 (0,01)	0,19 (0,02)	0,11 (0,02)	0,34 (0,03)	0,24 (0,05)	0,43 (0,14)	-
Outono	0,26 (0,03)	0,09	0,18 (0,01)	0,08 (0,01)	0,33 (0,04)	0,28 (0,14)	0,35 (0,24)	-
Inverno	0,35 (0,03)	-	0,20 (0,04)	0,10 (0,01)	0,51 (0,10)	0,12	0,37 (0,08)	-
Verão	0,33 (0,03)	0,23 (0,03)	0,19 (0,02)	0,11 (0,01)	0,37 (0,05)	0,29 (0,03)	0,70 (0,22)	-
Média ¹	0,30	0,15	0,19	0,10	0,39	0,23	0,46	-
Açoita – cavalo								
Primavera	0,21 (0,03)	0,13 (0,03)	0,23 (0,03)	0,14 (0,02)	0,19 (0,02)	0,21 (0,11)	0,34 (0,14)	0,19
Outono	0,28 (0,03)	-	0,19 (0,03)	0,13 (0,01)	0,25 (0,04)	0,18 (0,02)	0,32 (0,11)	-
Inverno	0,14 (0,01)	0,14 (0,02)	0,10 (0,02)	0,16 (0,02)	0,32 (0,04)	0,23 (0,03)	0,25 (0,02)	-
Verão	0,22 (0,05)	0,12 (0,01)	0,20 (0,03)	0,14 (0,02)	0,25 (0,02)	0,19 (0,03)	0,34 (0,04)	-
Média	0,21	0,13	0,18	0,14	0,25	0,20	0,31	0,19
Mulungu								
Primavera	0,12 (0,01)	-	0,23 (0,04)	0,13 (0,02)	0,09	-	0,17	-
Outono	0,33 (0,08)	-	0,21 (0,04)	0,11 (0,01)	0,26 (0,09)	-	0,18	-
Inverno	0,40 (0,06)	-	0,21 (0,03)	0,12 (0,02)	0,29 (0,11)	-	-	-
Verão	0,26 (0,06)	-	0,18 (0,04)	0,10 (0,03)	0,28 (0,04)	-	0,55	-
Média	0,28	-	0,21	0,11	0,23	-	0,30	-
Fedegoso								
Primavera	0,14	0,11 (0,01)	0,11 (0,03)	0,05	0,11	0,10 (0,03)	0,06 (0,01)	-
Outono	0,12 (0,01)	0,11	0,06	0,05 (0,01)	0,12 (0,01)	0,10 (0,01)	0,05 (0,01)	0,06
Inverno	0,15 (0,01)	0,14 (0,01)	0,09 (0,02)	0,06	0,23 (0,10)	0,05 (0,01)	0,15 (0,03)	-
Verão	0,12 (0,01)	0,10 (0,01)	0,07 (0,01)	0,05 (0,01)	0,15 (0,01)	0,11 (0,01)	0,06 (0,01)	-
Média	0,13	0,11	0,08	0,05	0,15	0,09	0,08	0,06
Ingá								
Primavera	0,10	0,08 (0,01)	0,07	0,03	0,11 (0,01)	0,09 (0,01)	0,11 (0,04)	-
Outono	0,09 (0,01)	-	0,04 (0,01)	0,03 (0,01)	0,11 (0,01)	0,07 (0,03)	0,09 (0,02)	-
Inverno	0,12 (0,01)	-	0,07	0,04	0,10 (0,02)	0,13 (0,02)	0,12 (0,00)	-
Verão	0,13 (0,01)	0,13 (0,01)	0,05	0,04 (0,01)	0,12 (0,01)	0,16 (0,01)	0,15 (0,04)	-
Média	0,11	0,11	0,06	0,04	0,11	0,11	0,12	-
Ipê-preto								
Primavera	0,18 (0,03)	-	0,33 (0,09)	0,19 (0,03)	0,13 (0,02)	-	0,34 (0,15)	-
Outono	0,17 (0,01)	-	0,23 (0,05)	0,18 (0,03)	0,17 (0,03)	-	-	-
Inverno	0,14 (0,01)	-	0,12 (0,01)	0,15 (0,02)	0,38 (0,17)	0,23	0,27	-
Verão	0,27 (0,04)	0,07	0,23 (0,03)	0,16 (0,02)	0,40 (0,03)	0,08	0,33	-
Média	0,19	0,07	0,23	0,17	0,27	0,15	0,31	-
Papagaio								
Primavera	0,48 (0,09)	-	0,46 (0,06)	0,19 (0,05)	0,55 (0,05)	-	0,18	-
Outono	0,43 (0,08)	-	0,23 (0,04)	0,14 (0,02)	0,32 (0,09)	0,26	-	-
Inverno	0,49 (0,06)	-	0,21 (0,02)	0,09 (0,02)	0,53 (0,07)	-	0,21	-
Verão	0,42 (0,03)	0,32	0,17 (0,03)	0,15 (0,01)	0,47 (0,07)	-	0,33	-
Média	0,46	0,32	0,27	0,14	0,47	0,26	0,24	-

¹ Média dos teores de Mg no ano.

Cobre

Os teores de Cu (Quadro 11) variaram entre as espécies, tanto no material verde quanto no material senescente.

As espécies que apresentaram os mais altos teores de Cu (mg kg^{-1}) em folhas verdes (média do ano) foram o papagaio (50,30) e o ipê-preto (20,35). No material senescente estas mesmas espécies apresentaram os mais altos teores de Cu com valores semelhantes ao do material verde (49,11 para o papagaio e 19,32 para o ipê-preto). É importante observar que o teor médio de Cu em folhas de papagaio são muito superiores aos apresentados pelas demais espécies, chegando a ser 2,5 vezes o teor apresentado pelo ipê-preto, 4,4 vezes ao do abacate, e até 7,4 vezes ao teor apresentado pelo ingá, espécie amplamente utilizada em SAFs. No material senescente essas diferenças permanecem embora menores.

Segundo MALAVOLTA (1980), o Cu é componente de enzimas nas células, tem função oxidativa e apresenta baixa redistribuição interna nos tecidos vegetais acumulando-se, principalmente, em folhas mais velhas. Neste estudo os teores de Cu são mais elevados no material senescente, principalmente em folhas o que se verificou para o abacate, o mulungu, o fedegoso e o ipê-preto, enquanto açaíta-cavalo, ingá e papagaio apresentaram teores mais altos de Cu em galhos finos.

No material verde, os teores de Cu são mais elevados em folhas (exceto para o açaíta-cavalo), seguido pelos galhos finos que apresentaram mais altos teores do que os galhos grossos de maioria das espécies, exceto para o abacate. Em flores e frutos os teores de Cu também foram elevados principalmente no material senescente, entretanto, poucas espécies apresentaram flores e frutos para se fazer a amostragem.

Os teores de Cu variaram também de acordo com as estações do ano para cada espécie. No material verde os mais altos teores foram observados na primavera para maioria das espécies (açaíta-cavalo, mulungu, fedegoso, ipê-preto e papagaio) enquanto para o material senescente estes foram observados no outono para a maioria das espécies (açaíta-cavalo, fedegoso, ingá, ipê-preto e papagaio).

Quadro 11: Teores de Cobre (Cu) em folhas (F), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente de árvores usadas em SAFs na Zona da Mata - MG de acordo com a estação climática. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n = 4).

Estação	Teores de Cu no material vegetal verde				Teores de Cu no material senescente			
	F	FF	GF	GG	F	FF	GF	GG
.....mg kg ⁻¹								
Abacate								
Primavera	12,90 (3,06)	26,48 (11,78)	11,15 (2,48)	6,28 (1,55)	9,70 (0,50)	21,40 (7,90)	12,85 (4,40)	-
Outono	17,30 (2,90)	11,40	10,93 (3,45)	32,28 (23,93)	9,08 (0,69)	12,07 (0,57)	10,95 (5,85)	-
Inverno	11,30 (3,62)	-	3,73 (0,91)	2,40 (0,91)	30,30 (17,79)	-	6,73 (1,87)	-
Verão	4,33 (0,17)	8,20 (1,84)	2,85 (0,15)	3,03 (2,09)	3,95 (0,69)	11,70 (2,16)	6,73 (4,47)	-
Média ¹	11,46	15,36	7,16	11,00	13,26	15,06	9,32	-
Açoita – cavalo								
Primavera	17,65 (1,62)	10,5 (1,14)	23,00 (4,25)	8,73 (0,30)	13,75 (1,51)	16,95 (5,65)	30,97 (10,37)	9,40
Outono	11,83 (1,57)	-	17,38 (1,70)	11,38 (0,84)	15,40 (4,15)	18,45 (2,52)	22,25 (2,02)	-
Inverno	5,43 (2,28)	10,58 (2,13)	5,06 (0,96)	6,60 (0,70)	7,38 (0,83)	15,48 (1,03)	19,87 (3,82)	-
Verão	4,58 (0,72)	6,73 (0,72)	10,25 (1,22)	3,80 (1,03)	4,83 (0,33)	13,03 (2,09)	26,70 (4,36)	-
Média	9,87	9,27	13,92	7,63	10,34	15,98	24,95	9,40
Mulungu								
Primavera	10,95 (2,25)	-	7,65 (0,26)	5,85 (0,34)	24,10 (15,10)	-	9,00	-
Outono	9,18 (0,74)	-	10,75 (3,63)	7,93 (2,56)	9,65 (2,02)	-	20,10	-
Inverno	4,48 (0,62)	-	3,13 (0,56)	2,68 (0,51)	16,98 (9,15)	-	-	-
Verão	3,15 (0,52)	-	2,25 (0,40)	1,25 (0,13)	1,25 (0,53)	-	1,10	-
Média	6,94	-	5,94	4,43	12,99	-	10,07	-
Fedegoso								
Primavera	11,95 (1,51)	28,23 (19,94)	9,18 (2,14)	4,10 (0,42)	9,95 (0,82)	9,43 (0,65)	10,38 (3,29)	-
Outono	9,18 (1,63)	8,48 (1,32)	7,50 (0,98)	4,50 (0,47)	33,38 (16,22)	26,38 (13,57)	9,38 (0,70)	9,20
Inverno	3,90 (0,70)	7,00 (3,26)	4,19 (2,19)	1,68 (0,85)	3,00 (0,95)	23,08 (18,78)	4,70 (4,60)	-
Verão	4,55 (1,26)	2,43 (0,74)	2,40 (0,95)	0,40 (0,10)	3,05 (0,86)	1,28 (0,33)	4,70 (3,34)	-
Média	7,39	11,53	5,82	2,67	12,34	15,04	7,29	9,20
Ingá								
Primavera	8,20 (1,24)	6,50 (1,12)	8,28 (1,21)	5,85 (1,06)	11,85 (2,46)	10,33 (1,65)	28,68 (15,78)	-
Outono	11,55 (3,12)	-	7,95 (1,45)	11,20 (3,96)	13,95 (3,57)	7,00 (1,90)	15,98 (6,20)	-
Inverno	4,10 (0,54)	-	4,00 (1,39)	3,83 (1,36)	1,80 (1,02)	5,70 (0,80)	6,50	-
Verão	3,35 (0,64)	5,18 (0,84)	2,48 (0,68)	3,40 (1,42)	3,30 (0,69)	6,73 (1,06)	20,40 (7,03)	-
Média	6,80	5,84	5,68	6,07	7,73	7,44	17,89	-
Ipê-preto								
Primavera	31,98 (8,36)	-	19,90 (1,39)	14,83 (1,75)	19,33 (3,47)	-	18,15 (6,55)	-
Outono	24,30 (3,63)	-	19,95 (1,65)	16,65 (1,04)	25,83 (1,91)	-	-	-
Inverno	9,68 (0,76)	-	10,19 (1,22)	8,31 (1,21)	25,35 (13,46)	15,40	15,00	-
Verão	15,45 (2,44)	8,50	13,48 (0,38)	7,68 (0,19)	6,78 (1,29)	11,60	22,20	-
Média	20,35	8,50	15,88	11,87	19,32	13,50	18,45	-
Papagaio								
Primavera	64,60 (12,80)	-	52,70 (3,76)	40,55 (5,65)	66,28 (15,38)	-	66,30	-
Outono	52,78 (8,14)	-	38,23 (3,39)	49,60 (13,82)	67,98 (13,63)	41,40	-	-
Inverno	51,51 (7,26)	-	51,66 (9,01)	22,68 (6,08)	36,60 (8,10)	-	75,90	-
Verão	32,33 (5,45)	33,90	35,30 (5,37)	33,35 (1,42)	25,58 (3,72)	-	91,30	-
Média	50,30	33,90	44,47	36,54	49,11	41,40	77,83	-

¹ Média dos teores de Cu no ano.

Zinco

Os teores de Zn (Quadro 12) variaram entre as espécies, tanto no material verde quanto senescente. A espécie que apresentou o mais alto teor de Zn (mg kg⁻¹) em folhas verdes (média do ano) foi o ipê-preto (34,52). Esta mesma espécie seguida pelo mulungu apresentou teor mais elevado (39,69 para o ipê-preto e 25,82 para o mulungu) no material senescente, sendo estes mais elevados do que no material verde. Se considerarmos outros órgãos da planta como os galhos finos e estruturas reprodutivas, esses teores são ainda mais elevados principalmente no material senescente. O açoita-cavalo, por exemplo, apresentou nos galhos finos e galhos grossos do material verde 49,95 e 34,54 mg kg⁻¹ de Zn respectivamente. Nos galhos finos do material senescente do açoita-cavalo esses teores foram bem mais elevados (126,95 mg kg⁻¹). O abacate, o ingá, o ipê-preto e o papagaio, também apresentam teores de Zn mais elevados em galhos finos do que em folhas do material senescente. Nas estruturas reprodutivas os teores de Zn também são elevados principalmente em material senescente havendo, portanto, acúmulo deste elemento. Esse acúmulo de Zn no material senescente foi observado na maioria das espécies pesquisadas para diferentes órgãos da planta. O Zn é um ativador enzimático e atua na síntese de auxinas. É encontrado, principalmente, em gemas e folhas novas e apresenta baixa redistribuição interna nos tecidos vegetais (MALAVOLTA, 1980), não havendo, portanto, realocação deste elemento na planta.

Os teores de Zn variaram também de acordo com as estações do ano para cada espécie. No material verde, os mais altos teores foram observados na primavera para a maioria das espécies, exceto o mulungu. No material senescente os mais altos teores foram observados também na primavera para a maioria das espécies, exceto para o fedegoso e o açoita-cavalo. No material verde, os menores teores foram verificados principalmente no verão.

Quadro 12: Teores de Zinco (Zn) em folhas (F), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e flores e frutos (FF) no material vegetal verde e material senescente de árvores usadas em SAFs na Zona da Mata - MG de acordo com a estação climática. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n = 4).

Estação	Teores de Zn no material vegetal verde				Teores de Zn no material senescente			
	F	FF	GF	GG	F	FF	GF	GG
.....mg kg ⁻¹								
Abacate								
Primavera	21,60 (0,74)	31,68 (5,24)	27,55 (4,02)	19,63 (3,70)	17,50 (1,70)	35,45 (9,45)	17,38 (2,62)	-
Outono	16,88 (1,07)	18,60	21,25 (2,26)	12,60 (0,84)	15,50 (1,12)	17,30 (5,12)	16,75 (0,55)	-
Inverno	18,58 (1,14)	-	18,79 (1,53)	14,70 (1,68)	14,93 (1,05)	17,60	26,93 (11,45)	-
Verão	16,20 (0,73)	22,97 (1,92)	18,10 (3,29)	11,73 (0,65)	15,08 (0,83)	31,30 (1,81)	20,10 (5,11)	-
Média ¹	18,31	24,41	21,42	14,66	15,75	25,41	20,29	-
Açoita – cavalo								
Primavera	17,73 (1,23)	19,63 (1,60)	80,67 (7,24)	43,13 (7,85)	25,08 (2,84)	55,75 (33,35)	202,83 (88,89)	35,7
Outono	10,80 (0,70)	-	56,30 (5,39)	37,53 (4,46)	14,10 (0,94)	54,05 (28,90)	84,03 (9,56)	-
Inverno	3,75 (0,56)	14,19 (2,63)	18,55 (2,16)	35,60 (5,71)	36,90 (21,80)	23,93 (2,13)	114,27 (19,73)	-
Verão	13,35 (1,15)	11,63 (1,02)	44,28 (4,49)	21,90 (3,88)	16,53 (1,17)	24,43 (5,65)	106,68 (2,52)	-
Média	11,41	15,15	49,95	34,54	23,15	39,54	126,95	35,7
Mulungu								
Primavera	15,60 (0,20)	-	22,15 (0,65)	17,73 (1,94)	54,70 (40,10)	-	10,70	-
Outono	29,28 (2,93)	-	16,18 (1,54)	11,28 (2,66)	19,53 (5,30)	-	6,30	-
Inverno	24,51 (3,33)	-	20,39 (3,63)	14,24 (2,09)	16,53 (2,25)	-	-	-
Verão	13,70 (1,10)	-	12,85 (1,14)	10,15 (0,58)	12,53 (1,99)	-	6,70	-
Média	20,77	-	17,89	13,35	25,82	-	7,90	-
Fedegoso								
Primavera	29,63 (1,65)	22,83 (0,81)	16,73 (0,94)	9,20 (0,85)	21,63 (2,09)	17,37 (2,08)	15,33 (1,83)	-
Outono	14,98 (0,81)	26,40 (0,83)	10,95 (0,47)	7,00 (1,17)	11,93 (0,72)	22,80 (0,97)	8,83 (1,06)	5,60
Inverno	14,54 (0,72)	21,00 (4,44)	8,50 (1,33)	6,46 (0,17)	12,60 (0,58)	21,63 (2,72)	9,63 (2,00)	-
Verão	13,20 (0,56)	13,40 (0,69)	7,25 (0,37)	5,53 (0,31)	22,20 (6,91)	16,63 (1,15)	8,95 (1,02)	-
Média	18,08	20,91	10,86	7,05	17,09	19,60	10,68	5,60
Ingá								
Primavera	20,10 (1,44)	17,40 (1,41)	15,10 (2,39)	10,28 (2,67)	16,18 (1,64)	16,97 (3,98)	13,08 (3,97)	-
Outono	14,45 (0,71)	-	9,65 (1,67)	8,55 (1,49)	13,20 (1,97)	9,70 (2,10)	21,35 (7,07)	-
Inverno	13,51 (0,72)	-	8,91 (1,61)	7,89 (1,60)	11,28 (0,95)	29,60 (1,70)	11,70 (3,10)	-
Verão	11,90 (0,69)	16,78 (1,56)	5,98 (0,99)	5,23 (0,62)	12,25 (0,66)	22,35 (1,11)	17,93 (4,86)	-
Média	14,99	17,09	9,91	7,98	13,23	19,65	16,01	-
Ipê-preto								
Primavera	50,18 (8,20)	-	31,78 (5,97)	23,40 (5,65)	46,70 (3,33)	-	43,25 (1,65)	-
Outono	36,03 (6,51)	-	26,40 (6,07)	20,55 (4,77)	38,40 (10,43)	-	-	-
Inverno	21,03 (4,40)	-	13,93 (2,91)	18,50 (4,73)	39,78 (12,69)	20,20	14,40	-
Verão	30,85 (10,30)	20,50	22,38 (6,44)	15,95 (3,65)	33,88 (8,54)	31,70	22,90	-
Média	34,52	20,50	23,62	19,60	39,69	25,95	26,85	-
Papagaio								
Primavera	22,48 (1,20)	-	22,58 (0,91)	10,70 (2,08)	26,98 (3,58)	-	34,30	-
Outono	18,58 (0,93)	-	20,33 (2,26)	16,28 (1,95)	22,35 (2,60)	14,20	-	-
Inverno	15,84 (0,71)	-	16,86 (2,76)	7,85 (2,30)	18,48 (3,93)	-	21,40	-
Verão	11,10 (0,59)	17,50	11,18 (3,41)	9,58 (1,93)	16,35 (0,66)	-	29,50	-
Média	17,00	17,50	17,73	11,10	21,04	14,20	28,40	-

¹ Média dos teores de Zn no ano.

Considerando que os agricultores que trabalham com SAFs na região não utilizam a poda, o material normalmente aportado nestes sistemas é o senescente. Baseando-se nos teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn no material senescente pode-se considerar mulungu, fedegoso, ipê-preto, abacate e papagaio como uma boa combinação para ciclar nutrientes tendo estas espécies teores elevados de nutrientes.

Além da utilidade das árvores para melhorar a qualidade dos solos, estas têm outros tipos de usos, por exemplo, o abacate é uma frutífera que ajuda na diversificação da produção e junto com o mulungu, papagaio e fedegoso, podem contribuir para a atração da fauna, resultando em importantes serviços ambientais. Do mulungu se utiliza o tecido da casca na indústria de cosméticos e medicinal. O tecido retirado da árvore se recompõe após certo tempo, sendo possível a retirada no mesmo tronco após certo tempo de novo material. Essa utilidade da espécie a torna mais interessante no sistema, pois pode representar geração extra de renda. Um agricultor vendeu casca de mulungu para a Natura – empresa de cosmético (informações pessoais).

No material senescente, a maioria das espécies apresentam maiores teores de N e Zn na primavera, de P, K, Ca e Cu no outono e de Mg no inverno. Entretanto as maiores quantidades de material senescente são aportadas na primavera (Capítulo 1 - Quadro 04). Dessa forma as quantidades de N e Zn aportadas nestes SAFs durante a primavera são altas. Outros nutrientes como o P, cujos solos da região tropical são em geral deficientes, e o K, muito importante na nutrição do cafeeiro, ambos são aportados em quantidades consideráveis no outono devido os altos teores de nutrientes presentes no material senescente, já que o outono é a estação de menor aporte de material (Quadro 4, Capítulo 1). Na primavera e verão as árvores aportam maiores quantidades de material, compensando os teores mais baixos.

As folhas representam em média 64% do material senescente aportado por estas espécies nos SAFs (Capítulo 1) Isso significa que, a grande maioria desses nutrientes absorvidos pelas árvores retorna ao solo na forma de material senescente, principalmente nas folhas, já que a maioria das espécies estudadas

apresenta caráter decíduo ou semidecíduo (LORENZI, 1992), e o abacate renova suas folhas a cada dois anos (CASTRO, 2003). A principal finalidade das árvores, nestes SAFs é o fornecimento de nutrientes.

No material verde, a primavera, seguida do verão são as estações que apresentaram os maiores teores de nutrientes nas folhas. Neste caso, a melhor época de poda dessas árvores, visando fornecer materiais com altos teores de nutrientes de liberação rápida é a primavera, estando concentrada nesta estação os maiores teores de N, P, K, Ca, Mg e Zn. Os teores de Cu na estação também são consideráveis. No material de poda são aportados grande quantidade de ramos que embora demorem a se decompor, também fornecem grande quantidade de nutrientes como Mg, Zn, K, e Cu. Considerando que a espécie cultivada *C. arábica*, necessita de luz fotossinteticamente ativa na época da indução floral que acontece no período de abril a junho na região de Viçosa (MATSUMOTO, 2004), a poda é recomendada neste período, cujos teores de nutrientes, são menores no material verde das espécies. Entretanto na região da Zona da Mata a poda não é prática comum, já que os agricultores manejam as árvores para um maior espaçamento e utilizam espécies decíduas e ou semidecíduas que perdem as suas folhas a partir do outono e inverno. Quando realizada na região, a poda é feita normalmente no inverno, final do período seco (julho a setembro) fazendo apenas um desbaste da parte inferior da copa das árvores levantando-a e mantendo-a acima da copa do café, permitindo assim maior circulação de ar no sistema. Estes resultados mostram que os agricultores estão certos ao manejar estes SAFs sem realizar a poda, mantendo apenas o espaçamento mais aberto, para permitir a entrada de luz.

Para compreender melhor a imobilização de nutrientes pelas árvores, o Quadro 13 apresenta os resultados da análise dos teores de nutrientes no tronco das espécies.

Analisando os teores de nutrientes nos diferentes órgãos das árvores pode-se observar que a quantidade de nutrientes imobilizados no tronco e galhos grossos é muito pequena, estando os nutrientes mais concentrados em órgãos senescentes das árvores como folhas, flores, frutos e galhos finos, portanto, retornando ao solo e sendo ciclados no sistema.

Quadro 13: Teores de nutrientes em material retirado do tronco de espécies arbóreas usadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais.

N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
.....dag kg ⁻¹.....			.....mg kg ⁻¹			
Abacate						
0,28 ± 0,08	0,02 ± 0,001	0,22 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,03 ± 0,006	39,98 ± 0,39	3,80 ± 2,5
Açoita-cavalo						
0,34 ± 0,04	0,03 ± 0,003	0,34 ± 0,08	0,51 ± 0,03	0,08 ± 0,007	58,60 ± 1,74	9,6 0 ± 1,34
Mulungu						
0,49 ± 0,03	0,04 ± 0,005	0,65 ± 0,04	0,24 ± 0,03	0,06 ± 0,011	15,55 ± 0,52	53,68 ± 12,7
Fedegoso						
0,32 ± 0,04	0,01 ± 0,001	0,09 ± 0,01	0,18 ± 0,00	0,02 ± 0,001	16,48 ± 0,46	11,00 ± 3,6
Ingá						
0,35 ± 0,02	0,01 ± 0,001	0,22 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,01 ± 0,001	42,03 ± 0,06	2,58 ± 1,3
Ipê-preto						
0,21 ± 0,02	0,01 ± 0,001	0,10 ± 0,01	0,09 ± 0,02	0,02 ± 0,002	52,28 ± 1,39	17,15 ± 11,6
Papagaio						
0,25 ± 0,02	0,02 ± 0,002	0,22 ± 0,03	0,08 ± 0,01	0,03 ± 0,001	21,08 ± 0,56	46,53 ± 7,1

Estudos realizados por CALDEIRA et al., (2000) para a espécie florestal *Acacia mearnsii* demonstraram que as maiores porcentagens de nutrientes na biomassa aérea da espécie foram verificada nas folhas, seguida pelos galhos, somando juntos 70% dos nutrientes e 30% dos nutrientes restantes foram verificados no tronco da espécie.

Nos SAFs da região, onde não se pratica a poda, este resultado é importante pois, a maioria das espécies avaliadas aportou principalmente folhas no material senescente, com percentuais variando de 50% a 95% (Capítulo 1), exceto o fedegoso e abacate que apresentou 62% e 43% respectivamente de flores e frutos no material senescente, enquanto os aportes de folhas foram de 29 e 35% para as duas espécies respectivamente. Dessa forma, é considerável, o aporte de nutrientes via material senescente no solo sob estes sistemas.

Considerando que os nutrientes mais deficientes em solos tropicais são o N e o P e que o K é um nutriente muito exigido pelo café, cultura principal nos SAFs aqui estudados, considerando ainda que os maiores teores desses nutrientes no material senescente são encontrados em folhas e estruturas reprodutivas, pode se afirmar que esses nutrientes são devolvidos de forma natural e eficiente aos sistemas, não havendo necessidade de poda para devolução dos mesmos, exigindo portanto pouca mão-de-obra do agricultor para a condução desses SAFs.

3.2. Aporte de nutrientes pelas espécies arbóreas

Os quadros 14 a 20 apresentam as quantidade nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados anualmente via material senescente das espécies arbóreas.

Quadro 14: Quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados ao solo via material senescente de abacate no período de um ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n =4).

Abacate							
Estação	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
.....(kg.ha ⁻¹).....				.....(g.ha ⁻¹).....			
Folhas							
Primavera	3,0 (0,84)	0,10 (0,02)	0,59 (0,19)	5,4 (1,88)	0,87 (0,29)	4,1(1,2)	2,2 (0,6)
Verão	2,9 (1,47)	0,14 (0,06)	1,18 (0,65)	3,7 (1,36)	0,74 (0,27)	3,5 (1,5)	1,9 (0,8)
Outono	0,4 (0,05)	0,02 (0,00)	0,16 (0,02)	0,8 (0,23)	0,22 (0,07)	0,6 (0,1)	1,1 (0,6)
Inverno	2,7 (1,53)	0,07 (0,03)	0,85 (0,29)	3,6 (1,10)	0,76 (0,27)	3,0 (1,1)	0,8 (0,3)
Total	9,0	0,33	2,79	13,5	2,59	11,2	6,0
Galhos finos							
Primavera	0,3 (0,12)	0,02 (0,00)	0,24 (0,08)	0,6 (0,30)	0,19 (0,11)	0,7 (0,4)	0,7 (0,5)
Verão	0,0 (0,02)	0,00	0,01 (0,01)	0,1 (0,06)	0,02 (0,02)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)
Outono	0,0 (0,01)	0,00	0,01 (0,01)	0,1 (0,02)	0,01 (0,01)	0,1 (0,0)	0,0
Inverno	0,0 (0,02)	0,00	0,02 (0,02)	0,1 (0,09)	0,04 (0,04)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)
Total	0,3	0,0	0,3	0,8	0,3	1,0	0,8
Galhos grossos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Flores e frutos							
Primavera	0,9 (0,52)	0,07 (0,05)	0,63 (0,46)	0,2 (0,09)	0,07 (0,04)	1,1 (0,6)	0,6 (0,4)
Verão	0,2 (0,18)	0,02 (0,02)	0,22 (0,22)	0,1 (0,05)	0,02 (0,02)	0,3 (0,3)	0,1 (0,1)
Outono	0,0	0,00	0,02 (0,02)	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	11,2 (8,34)	0,99 (0,84)	6,27 (5,21)	2,9 (2,06)	1,15 (0,79)	17,2 (13,7)	7,5 (6,2)
Total	12,2	1,08	7,13	3,1	1,24	18,6	8,2
Todos os órgãos							
Primavera	4,1	0,18	1,46	6,1	1,13	5,9	3,5
Verão	3,1	0,16	1,41	3,8	0,78	3,9	2,1
Outono	0,4	0,02	0,19	0,9	0,23	0,7	1,1
Inverno	13,9	1,06	7,15	6,6	1,95	20,3	8,3
Total	21,5	1,43	10,21	17,4	4,10	30,8	15,1

Quadro 15: Quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados ao solo via material senescente de açoita-cavalo em um ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n =4).

Estação	Açoita-cavalo						
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
	.....(kg.ha ⁻¹).....				.....(g.ha ⁻¹).....		
Folhas							
Primavera	8,4 (0,79)	0,37 (0,02)	2,00 (0,30)	7,7 (1,98)	0,90 (0,11)	11,4 (0,9)	6,3 (0,8)
Verão	3,6 (0,54)	0,14 (0,02)	1,18 (0,28)	2,6 (0,85)	0,58 (0,22)	2,9 (0,6)	2,8 (0,3)
Outono	2,1 (0,29)	0,08 (0,01)	1,07 (0,38)	2,3 (0,33)	0,44 (0,08)	5,6 (3,6)	1,1 (0,2)
Inverno	5,3 (0,60)	0,20 (0,01)	2,26 (0,25)	6,9 (0,37)	0,92 (0,13)	6,1 (0,8)	1,8 (0,3)
Total	19,3	0,79	6,51	19,4	2,84	26,0	12,0
Galhos finos							
Primavera	2,6 (2,53)	0,03 (0,03)	1,60 (1,51)	2,3 (1,96)	0,38 (0,34)	19,7 (17,2)	3,0 (2,5)
Verão	1,2 (0,92)	0,05 (0,04)	1,42 (1,14)	2,8 (2,33)	0,28 (0,17)	9,4 (7,0)	2,6 (2,0)
Outono	0,2 (0,10)	0,02 (0,01)	0,16 (0,07)	0,4 (0,15)	0,05 (0,02)	2,4 (1,0)	0,4 (0,2)
Inverno	0,0 (0,04)	0,00	0,04 (0,04)	0,1 (0,13)	0,01 (0,01)	0,3 (0,3)	0,0
Total	4,0	0,10	3,21	5,5	0,72	31,8	6,0
Galhos grossos							
Primavera	1,5 (1,5)	0,05 (0,05)	2,04 (2,04)	2,8 (2,81)	0,57 (0,57)	10,6 (10,6)	2,8 (2,8)
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	1,5	0,05	2,04	2,8	0,57	10,6	2,8
Flores e frutos							
Primavera	0,8 (0,49)	0,03 (0,02)	0,71 (0,41)	1,1 (0,91)	0,17 (0,13)	4,5 (3,6)	1,3 (0,9)
Verão	1,7 (0,63)	0,11 (0,05)	0,92 (0,40)	0,4 (0,06)	0,13 (0,04)	6,3 (4,9)	1,4 (0,5)
Outono	5,7 (1,41)	0,44 (0,11)	3,69 (0,97)	2,1 (1,05)	0,59 (0,16)	6,0 (1,4)	4,1 (1,0)
Inverno	0,6 (0,21)	0,05 (0,02)	0,59 (0,21)	0,2 (0,06)	0,07 (0,02)	0,8 (0,3)	0,4 (0,1)
Total	8,9	0,63	5,9	3,8	0,96	17,6	7,3
Todos os órgãos							
Primavera	13,3	0,49	6,35	13,9	2,02	46,2	13,4
Verão	6,4	0,30	3,52	5,8	0,99	18,6	6,8
Outono	8,0	0,54	4,92	4,7	1,08	14,0	5,6
Inverno	5,9	0,25	2,88	7,2	1,00	7,2	2,3
Total	33,8	1,81	17,80	31,8	5,14	87,6	28,4

Quadro 16: Quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados ao solo via material senescente de mulungu no período de um ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n =4).

Mulungu							
Estação	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
.....(kg.ha ⁻¹).....				.....(g.ha ⁻¹).....			
Folhas							
Primavera	0,2 (0,21)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,1 (0,11)	0,01 (0,01)	0,1 (0,1)	0,1 (0,1)
Verão	0,8 (0,27)	0,06 (0,02)	0,27 (0,11)	0,6 (0,26)	0,11 (0,05)	0,7 (0,3)	0,4 (0,1)
Outono	3,8 (2,35)	0,15 (0,09)	2,71 (2,35)	3,5 (2,92)	0,89 (0,74)	2,5 (1,5)	4,8 (4,7)
Inverno	3,0 (1,66)	0,10 (0,06)	2,18 (1,27)	3,3 (1,97)	0,56 (0,35)	1,8 (1,0)	0,2 (0,1)
Total	7,8	0,32	5,17	7,4	1,57	5,2	5,4
Galhos finos							
Primavera	0,0 (0,04)	0,00	0,00	0,1 (0,06)	0,00	0,0	0,0
Verão	0,2 (0,16)	0,01 (0,01)	0,01 (0,01)	0,3 (0,27)	0,02 (0,02)	0,1 (0,1)	0,2 (0,2)
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,1 (0,05)	0,00	0,04 (0,04)	0,1 (0,10)	0,02 (0,02)	0,0	0,0
Total	0,3	0,01	0,05	0,5	0,04	0,1	0,2
Galhos grossos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Flores e frutos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,0	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Todos os órgãos							
Primavera	0,3	0,01	0,02	0,2	0,01	0,1	0,1
Verão	0,9	0,06	0,28	0,8	0,13	0,8	0,6
Outono	3,8	0,15	2,71	3,5	0,89	2,5	4,8
Inverno	3,0	0,11	2,22	3,4	0,59	1,9	0,2
Total	8,1	0,33	5,23	7,8	1,61	5,3	5,7

Quadro 17: Quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados ao solo via material senescente de fedegoso no período de um ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n=4).

Fedegoso							
Estação	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
	.....(kg.ha ⁻¹).....					.....(g.ha ⁻¹).....	
Folhas							
Primavera	11,7 (3,69)	0,46 (0,15)	1,54 (0,69)	8,0 (3,18)	0,54 (0,16)	11,0 (3,5)	4,7 (1,1)
Verão	12,0 (5,79)	0,44 (0,22)	2,08 (1,06)	7,3 (3,35)	0,51 (0,20)	5,5 (2,6)	14,1 (8,0)
Outono	6,8 (2,17)	0,22 (0,08)	2,91 (0,75)	3,5 (1,42)	0,81 (0,43)	3,8 (1,2)	0,4 (0,1)
Inverno	9,7 (3,30)	0,30 (0,10)	2,04 (0,60)	8,4 (3,19)	0,71 (0,28)	12,1 (5,5)	1,3 (0,5)
Total	40,3	1,42	8,57	27,3	2,57	32,5	20,5
Galhos finos							
Primavera	0,9 (0,86)	0,07 (0,04)	0,15 (0,11)	0,9 (0,40)	0,05 (0,02)	1,4 (0,7)	0,8 (0,3)
Verão	7,6 (6,33)	0,26 (0,23)	0,54 (0,42)	7,1 (6,31)	0,33 (0,30)	6,1 (5,6)	6,0 (5,5)
Outono	1,6 (0,81)	0,14 (0,10)	1,36 (0,51)	2,4 (1,47)	0,24 (0,17)	1,6 (1,1)	0,7 (0,7)
Inverno	1,7 (1,71)	0,04 (0,04)	0,10 (0,10)	1,0 (1,00)	0,09 (0,09)	1,5 (1,5)	0,1 (0,1)
Total	1,18	0,50	2,15	11,4	0,70	10,5	7,6
Galhos grossos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	5,38 (5,38)	0,17 (0,17)	0,33 (0,33)	6,5 (6,49)	0,32 (0,32)	2,8 (2,8)	4,6 (4,6)
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	5,38	0,17	0,33	6,5	0,32	2,8	4,6
Flores e frutos							
Primavera	7,5 (2,60)	0,48 (0,17)	1,08 (0,38)	3,6 (1,23)	0,30 (0,11)	5,6 (1,9)	3,1 (1,1)
Verão	25,5 (12,33)	2,10 (0,84)	7,11 (2,94)	5,6 (2,24)	0,95 (0,33)	22,3 (8,5)	18,1 (5,8)
Outono	6,2 (3,24)	0,48 (0,31)	5,14 (3,23)	1,9 (1,06)	0,12 (0,06)	4,6 (2,2)	14,8 (14,4)
Inverno	19,9 (7,65)	1,59 (0,90)	10,31 (4,35)	5,4 (2,58)	1,11 (0,41)	16,7 (6,5)	1,1 (0,3)
Total	59,1	4,65	23,63	16,5	2,48	49,2	37,1
Todos os órgãos							
Primavera	20,1	1,00	2,77	12,5	0,89	18,0	8,6
Verão	50,5	2,97	10,06	26,5	2,11	36,7	42,9
Outono	14,6	0,84	9,40	7,9	1,16	10,1	16,0
Inverno	31,4	1,93	12,45	14,8	1,92	30,3	2,5
Total	116,5	6,75	34,68	61,7	6,07	95,0	69,9

Quadro 18: Quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados ao solo via material senescente de ingá no período de um ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n =4).

Estação	Ingá						
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
	.....(kg.ha ⁻¹).....				.....(g.ha ⁻¹).....		
Folhas							
Primavera	16,5 (3,73)	0,47 (0,15)	2,78 (0,22)	7,5 (1,64)	0,74 (0,13)	10,8 (1,4)	7,5 (1,0)
Verão	24,4 (5,69)	0,85 (0,28)	6,73 (1,96)	11,2 (3,33)	1,23 (0,34)	15,6 (5,0)	17,7 (7,2)
Outono	8,4 (2,09)	0,27 (0,08)	4,50 (1,13)	2,8 (0,29)	0,40 (0,11)	4,8 (1,4)	1,0 (0,6)
Inverno	21,9 (9,27)	0,57 (0,24)	5,53 (1,96)	10,7 (3,40)	1,24 (0,42)	12,6 (4,4)	2,7 (0,5)
Total	71,3	2,17	19,55	32,2	3,61	43,8	28,9
Galhos finos							
Primavera	1,2 (0,77)	0,07 (0,02)	0,51 (0,24)	1,7 (1,30)	0,14 (0,11)	0,9 (0,4)	1,6 (0,7)
Verão	0,9 (0,67)	0,04 (0,02)	0,26 (0,12)	0,4 (0,21)	0,04 (0,02)	0,6 (0,3)	0,5 (0,2)
Outono	1,6 (1,20)	0,09 (0,08)	1,69 (1,56)	2,2 (1,83)	0,23 (0,18)	2,5 (2,2)	1,0 (1,0)
Inverno	0,8 (0,85)	0,02 (0,02)	0,12 (0,12)	0,8 (0,79)	0,09 (0,09)	2,9 (2,9)	0,3 (0,3)
Total	4,5	0,22	2,58	5,0	0,50	7,0	3,4
Galhos grossos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Flores e frutos							
Primavera	7,1 (4,99)	0,38 (0,26)	3,50 (3,07)	1,2 (0,63)	0,28 (0,17)	4,8 (2,7)	2,8 (1,5)
Verão	1,2 (0,69)	0,07 (0,04)	0,48 (0,28)	0,2 (0,11)	0,05 (0,03)	0,6 (0,4)	0,5 (0,3)
Outono	0,0	0,00	0,05 (0,03)	0,0	0,00	0,1 (0,0)	0,0
Inverno	5,7 (2,36)	0,26 (0,11)	1,86 (0,76)	1,8 (0,80)	0,37 (0,15)	5,0 (2,1)	1,4 (0,6)
Total	14,1	0,71	5,88	3,2	0,70	10,6	4,7
Todos os órgãos							
Primavera	24,8	0,92	6,79	10,3	1,17	16,5	11,8
Verão	26,5	0,96	7,47	11,8	1,31	16,9	18,6
Outono	10,0	0,36	6,24	5,0	0,63	7,4	2,0
Inverno	28,5	0,84	7,51	13,3	1,69	20,4	4,5
Total	89,8	3,09	28,01	40,4	4,81	61,3	36,9

Quadro 19: Quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados ao solo via material senescente de ipê-preto no período de um ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n =4).

Estação	Ipê-preto						
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
	.....(kg.ha ⁻¹).....				.....(g.ha ⁻¹).....		
Folhas							
Primavera	0,1 (0,07)	0,01 (0,01)	0,08 (0,06)	0,1 (0,05)	0,02 (0,02)	0,7 (0,5)	0,3 (0,2)
Verão	0,2 (0,16)	0,01 (0,01)	0,12 (0,10)	0,1 (0,05)	0,02 (0,01)	0,3 (0,2)	0,3 (0,2)
Outono	0,9 (0,82)	0,03 (0,02)	0,92 (0,69)	0,1 (0,07)	0,13 (0,11)	0,9 (0,6)	0,5 (0,4)
Inverno	1,8 (0,85)	0,07 (0,03)	2,27 (1,15)	1,1 (0,48)	0,58 (0,26)	3,7 (1,0)	1,1 (0,6)
Total	3,1	0,13	3,39	1,4	0,76	5,7	2,2
Galhos finos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,4 (0,36)	0,01 (0,01)	0,07 (0,07)	0,3 (0,31)	0,10 (0,10)	0,6 (0,6)	0,6 (0,6)
Inverno	0,1 (0,10)	0,00	0,01 (0,01)	0,1 (0,08)	0,03 (0,03)	0,2 (0,2)	0,2 (0,2)
Total	0,5	0,01	0,08	0,4	0,14	0,8	0,8
Galhos grossos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Flores e frutos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,58 (0,58)	0,06 (0,06)	0,54 (0,54)	0,03 (0,03)	0,02 (0,02)	1,0 (1,0)	0,4 (0,4)
Total	0,58	0,06	0,54	0,03	0,02	1,0	0,4
Todos os órgãos							
Primavera	0,1	0,01	0,08	0,1	0,02	0,8	0,3
Verão	0,2	0,01	0,12	0,1	0,02	0,3	0,3
Outono	1,3	0,04	0,99	0,4	0,23	1,5	1,0
Inverno	2,5	0,13	2,82	1,2	0,64	5,0	1,7
Total	4,1	0,20	4,01	1,8	0,92	7,5	3,4

Quadro 20: Quantidade de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Cu e Zn) aportados ao solo via material senescente de papagaio no período de um ano. Entre parênteses é apresentado o erro padrão (n =4).

Papagaio							
Estação	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
	.....(kg.ha ⁻¹).....				.....(g.ha ⁻¹).....		
Folhas							
Primavera	0,4 (0,15)	0,01 (0,00)	0,03 (0,01)	0,3 (0,14)	0,08 (0,04)	0,4 (0,2)	0,7 (0,2)
Verão	0,7 (0,42)	0,02 (0,01)	0,04 (0,02)	0,6 (0,43)	0,08 (0,04)	0,8 (0,6)	1,7 (0,9)
Outono	0,1 (0,05)	0,00	0,03 (0,01)	0,2 (0,07)	0,05 (0,02)	0,1 (0,0)	0,3 (0,1)
Inverno	0,3 (0,08)	0,01 (0,00)	0,08 (0,03)	0,2 (0,09)	0,07 (0,02)	0,2 (0,1)	0,3 (0,1)
Total	1,5	0,04	0,7	1,3	0,26	1,5	2,9
Galhos finos							
Primavera	0,01 (0,01)	0,00	0,00	0,01 (0,01)	0,00	0,0	0,1 (0,1)
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,0	0,1
Galhos grossos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Flores e frutos							
Primavera	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Verão	0,03 (0,03)	0,00	0,00	0,02 (0,02)	0,01 (0,01)	0,0	0,1 (0,1)
Outono	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Inverno	0,0	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,0
Total	0,03	0,00	0,00	0,02	0,01	0,0	0,1
Todos os órgãos							
Primavera	0,4	0,01	0,03	0,3	0,08	0,4	0,8
Verão	0,7	0,02	0,04	0,7	0,08	0,9	1,8
Outono	0,1	0,01	0,03	0,2	0,05	0,1	0,3
Inverno	0,3	0,01	0,08	0,2	0,07	0,2	0,3
Total	1,5	0,05	0,18	1,4	0,27	1,6	3,1

A contribuição (em kg ha⁻¹ ano⁻¹) de N por espécie variou de 1,5 a 116,9; P de 0,02 a 6,76 kg; K de 0,18 a 34,8 kg; Ca de 1,4 a 62,0 e Mg de 0,27 a 6,09 ; de Cu e de Zn (em g ha⁻¹ ano⁻¹) de 3,1 a 69,9; e 1,6 a 95,3 respectivamente.

O Quadro 21 apresenta as significâncias dos valores de F calculados nas análises de variâncias para os conteúdos de N, P, K, Ca e Mg, Cu e Zn aportados no material senescente de espécies arbóreas ao longo de um ano de avaliação. No anexo 2 encontram-se os quadros referente às análises de variâncias para cada nutriente, e a significância para os testes de comparação de médias entre espécies, entre espécie x estação e entre espécie x órgão.

Quadro 21: Significância dos valores de F calculados nas análises de variâncias para os conteúdos de N, P, K, Ca e Mg, Cu e Zn aportados no material senescente de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais no período de um ano.

Fonte de variação	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
Espécie	***	***	***	***	***	*	***
Órgão	***	***	***	***	***	**	***
Estação	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns
Espécie x órgão	***	***	***	***	**	**	***
Espécie x estação	**	ns	ns	**	ns	***	**
Órgão x estação	ns	ns	ns	*	ns	ns	Ns
Espécie x órgão x estação	ns	**	**	ns	**	ns	Ns

* p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

O conteúdo dos nutrientes variou entre espécies e entre órgãos da planta presentes no material senescente. Entre estações do ano, dependendo da interação com espécie ou órgão, houve diferença nos conteúdos de nutrientes. As interações entre espécies e órgãos foram significativas para N, P, k, Ca e Zn (p < 0,01) e Mg e Cu (p < 0,05). As interações entre espécies e estações foram significativas para N, Ca, Cu e Zn e não foram significativas para P, K e Mg. A interação entre órgão e estação foi significativa apenas para o Ca. As interações entre espécies, órgãos e estações foram significativas para P, K e Mg.

O fedegoso (Quadro 18) aportou mais nutrientes por meio do seu material senescente aos SAFs, sendo os conteúdos de N, P, Ca e Cu mais elevados (p < 0,05)

do que os apresentados pelas demais espécies. Os conteúdos de K e Mg foram iguais aos apresentados pelo ingá, que por sua vez foram maiores ($p < 0,05$) do que para as demais espécies. O conteúdo de Zn igualou-se ao aportado pelo açoita-cavalo e foi maior ($p < 0,05$) que o das demais espécies. Ao longo das estações, o fedegoso apresentou grande variação nos conteúdos de nutrientes principalmente nos teores de N e P. O verão foi a estação em que a espécie apresentou os maiores conteúdos de maioria dos nutrientes (N, P, Ca, Mg e Cu) avaliados. A estação em que os conteúdos de nutrientes mais se diferenciaram dos conteúdos apresentados no verão foi a primavera cujos conteúdos de todos os nutrientes foram menores ($p < 0,05$). Os conteúdos de N, P, K e Cu ($p < 0,01$) e Zn ($p < 0,05$) aportados por meio das estruturas reprodutivas presentes no material senescente foi maior do que os conteúdos desses nutrientes aportados por meio das folhas. O conteúdo de Ca foi maior ($p < 0,05$) nas folhas. O conteúdo de Mg aportado por folhas foi igual ao aportado por estruturas reprodutivas.

O ingá (Quadro 19) foi a segunda espécie a aportar mais nutrientes apresentando os conteúdos de N, P, K, maiores ($p < 0,10$) que as demais espécies, excetuando-se o fedegoso. Os conteúdos de Ca, e Cu foram iguais ao do açoita-cavalo e maiores que as demais espécies ($p < 0,10$). O conteúdo de Mg do ingá se igualou ao conteúdo apresentado pelo fedegoso, açoita-cavalo e abacate e foi maior ($p < 0,01$) que as demais espécies. O Zn foi menor que ingá e fedegoso e maior ($p < 0,01$) que as demais espécies. Ao longo das estações, o ingá apresentou pouca variação no conteúdo de nutrientes ao longo das estações, sendo o N e Cu, os nutrientes que apresentaram as maiores variações nos conteúdos entre as estações. No outono foram aportados os menores conteúdos de nutrientes. As diferenças mais significativas foram verificadas quando se comparou o outono com o inverno onde variaram os conteúdos de N ($p < 0,01$), Ca, Mg ($p < 0,05$) e Zn ($p < 0,20$), sendo estes maiores no inverno. O Ingá não apresentou galhos grossos em seu material senescente. O conteúdo de todos os nutrientes foi maior ($p < 0,01$) em folhas do que em flores e frutos.

O Açoita-cavalo (Quadro 15) também aportou conteúdos consideráveis de nutrientes, destacando-se o conteúdo de Zn, onde a espécie se igualou ao fedegoso,

e superou o ingá ($p < 0,01$) e demais espécies ($p < 0,01$). O fedegoso e o ingá também foram as espécies que aportaram maior quantidade de material senescente (Quadro 4 - capítulo 1) no ano. Ao longo das estações o açoita-cavalo não apresentou variação nos conteúdos de N, P e K presentes no material senescente. Entretanto, para Ca, Mg e Zn, esses conteúdos foram mais elevados ($p < 0,10$) na primavera em relação às demais estações. O conteúdo de Cu na primavera também foi maior do que no outono ($p < 0,20$) e no inverno ($p < 0,10$), mas foi igual ao aportado no verão. Para o açoita-cavalo, os conteúdos de nutrientes foram maiores em folhas seguidas pelas estruturas reprodutivas e o conteúdo de Zn em galhos finos foi maior ($p < 0,10$) do que os apresentados por estruturas reprodutivas. Os conteúdos de Ca e Mg ($p < 0,01$) e N ($p < 0,20$) foram maiores em folhas senescentes do que em estruturas reprodutivas e galhos finos. Os conteúdos de P, K, Cu e Zn aportados foram iguais em folhas e estruturas reprodutivas presentes no material senescente da espécie.

O abacate (Quadro 14) também aportou quantidades de N, P, Mg e Cu semelhantes ao açoita-cavalo. Nos SAFs avaliados, os frutos maduros do abacate foram na maioria devolvidos ao solo, já que o agricultor tinha uma grande produção e atendia somente a demanda local. Entretanto, não foi feita a quantificação da produção da espécie retirada do sistema. Também não foi realizada uma análise dos frutos maduros, analisaram-se apenas as flores e frutos pequenos e verdes (4,0 cm de diâmetro). Mas para se ter uma noção das quantidades de nutrientes presentes em frutos maduros da espécie, no Quadro 22 é apresentado o teor de nutrientes de partes comestíveis (polpa) e casca de frutos maduros de abacate.

Quadro 22: Teor de nutrientes de partes comestíveis (polpa) e casca de frutos de abacate por kg de amostra *in natura* (GODIM et al., 2005).

Parte do fruto	K	P	Ca	Mg	Na	Zn	Cu	Fe
	.....g kg ⁻¹.....					.....mg kg ⁻¹		
Polpa	2,060	0,220	0,080	0,150	<0,004	2,0	1,5	2,0
Cascas	2,367	-	1,239	0,262	0,767	12	1,8	22

Tais dados demonstram o potencial da espécie para ciclar nutrientes, disponibilizando altas quantidades de principalmente K, P, Ca e Mg. Entretanto a

análise total do fruto, incluindo a semente, é necessária para a avaliação completa dos teores de nutrientes presente nos frutos e sua contribuição na ciclagem de nutrientes nos SAFs.

Para o abacate, o conteúdo de maioria dos nutrientes, exceto o Cu, variou ao longo das estações. A espécie aportou maiores conteúdos de nutrientes no inverno e menores no outono, sendo estas as estações que apresentaram a maior amplitude de variação. Os conteúdos de nutrientes N e Mg ($p < 0,01$), P, Ca, e Zn ($p < 0,05$) e K ($p < 0,20$) foram maiores no inverno. Apenas o Cu foi aportado de forma igual nas duas estações. Não houve aporte de galhos grossos (GG) no material senescente do abacate. Os conteúdos de Ca e Mg foram maiores ($p < 0,01$) em folhas, seguidas por estruturas reprodutivas e galhos finos. O conteúdo de Ca aportados em estrutura reprodutiva não diferiu do conteúdo em galhos finos. Os conteúdos de P ($p < 0,10$) e K ($p < 0,20$) foram maiores em estruturas reprodutivas do que em folhas senescentes. Os conteúdos de N, Cu e Zn foram aportados igualmente em folhas e estruturas reprodutivas da espécie.

O mulungu (Quadro 18), ipê-preto (Quadro 19) e papagaio (Quadro 20) foram as espécies que aportaram menores conteúdos de nutrientes, uma vez que produziram menores quantidades de material senescente. Para o mulungu (Quadro 18), o aporte de N, P, K, Ca, Cu e Zn foi igual entre as estações. Apenas o Mg foi maior no outono do que na primavera ($p < 0,10$) e verão ($p < 0,20$). Também não houve aporte de galhos grossos e flores e frutos no material senescente do mulungu. Os maiores ($p < 0,10$) conteúdos de K, Ca e Mg, foram aportados em folhas. Os demais nutrientes foram aportados igualmente em folhas e galhos finos.

Ao longo das estações o conteúdo de nutrientes aportados pelo ipê-preto (Quadro 19) não apresentou variação significativa nas estações. Para a espécie, o conteúdo de Mg aportado por meio das folhas foi igual ao aportado por meio das estruturas reprodutivas e maior ($p < 0,20$) do que o aportado por meio de galhos finos e galhos grossos. Os demais nutrientes não apresentaram diferença nos conteúdos de nutrientes aportados por meio dos diferentes órgãos da planta presentes no material senescente.

Para o papagaio (Quadro 20) o conteúdo de nutrientes não apresentou

variação significativa ao longo das estações. Também não variaram os conteúdos de nutrientes aportados pelas diferentes partes da planta.

Dentro do ano agrícola, as plantas em produção absorvem os elementos de forma diferenciada. A absorção de N, P e K em função da época do ano pelo cafeeiro pode ser verificada para o cafeeiro na Figura 5, adaptada de CARVAJAL (1984) citado por PRADO; NASCIMENTO (2003) onde se cultivou em solução nutritiva, plantas de 3 a 4 anos de idade e analisou-se as quantidades de nutrientes absorvidas. A absorção total (g por planta) no período foi de 115 (N), 24 (P) e 66 (K). Observou-se que 60% do N, 74% do P e 56% do K foram absorvidos no período de pré-floração e crescimento dos frutos que acontece de julho à março, quando se inicia o período de maturação do fruto, cuja demanda do cafeeiro por NPK se reduz.

	Crescimento do fruto			Maturação e colheita		Repouso		Pré-floração e colheita			Crescimento do fruto	
	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
N												
P												
K												

Figura 5: Absorção de N, P e K pelo cafeeiro em função da época do ano (adaptado de CARVAJAL, 1984).

No período de pré-floração que vai de julho a outubro a planta necessita de mais N e P do que no período de crescimento do fruto. Já em relação ao K, o período de maior absorção acontece na fase de crescimento do fruto que acontece a partir de outubro e vai até março. Em condições de campo isto significa, coincidência com o período de chuvas, ou seja com as estações da primavera e verão. Em nosso estudo não se verificou efeito significativo de estação mas, houve interação significativa para alguns nutrientes entre estação e espécies, para outros entre estação, espécie e órgão da planta, isto significa que o comportamento das espécies diferiram em relação as estações e órgãos das plantas, especialmente o fedegoso, o ingá, o açoita-cavalo e o abacate que aportaram material senescente

com conteúdos elevados de diversos nutrientes no verão (fedegoso – maior conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e Cu); na primavera (açoita-cavalo - maior conteúdo Ca, Mg e Zn) e no inverno (ingá – maior conteúdo de N, Ca, Mg e Zn e Cu e abacate – maior conteúdo de N, P, Ca, Mg, K e Zn). O aporte contínuo de matéria orgânica contendo esses nutrientes permite consequentemente maior estabilidade nos agregados do solo e também a disponibilização destes nutrientes para as plantas.

No Quadro 23 são apresentadas as quantidades de nutrientes fornecidos em material verde das espécies: fedegoso, açoita-cavalo, abacate, mulungu e papagaio, podadas, durante o período avaliado, para levantamento da copa. O ingá e o ipê-preto não receberam poda no período avaliado. O material retirado das árvores foi relativamente pouco, pois, a finalidade era apenas fazer o levantamento da parte inferior da copa das árvores, elevando-a para ficar acima da copa do café, sendo a maioria dessas árvores bem desenvolvidas. Considerando-se 100 árvores por ha, aportou-se ao solo de 143,8 (mulungu) a 1.300 kg ha⁻¹ de material (abacate).

Quadro 23: Quantidades de nutrientes fornecidos em material verde de espécies arbóreas usadas em SAFs.

Espécies	MF ¹ (kg ha ⁻¹)	MS ² (%)	MS (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	
			(kg ha ⁻¹).....					(g ha ⁻¹).....	
Abacate	1.300,0	39,3	510,3	5,9	0,83	3,97	5,58	0,86	8,6	10,3	
Açoita-cavalo	212,5	49,9	106,1	1,3	0,09	1,25	1,05	0,18	2,4	0,7	
Mulungu	143,8	44,8	64,3	1,3	0,08	0,61	0,60	0,12	0,8	0,1	
Fedegoso	337,5	56,8	191,6	2,8	0,19	1,51	1,28	0,16	1,9	0,6	
Papagaio	406,3	30,5	124,0	3,7	0,19	1,45	0,79	0,33	2,3	5,8	
Média das esp.	480,0	44,3	142,3	3,0	0,28	1,76	1,86	0,33	3,2	3,5	

¹ MF = matéria fresca; ² MS = matéria seca (%)

As quantidades de nutrientes aportadas (kg ha⁻¹) variaram de 1,3 a 5,9 de N; 0,09 a 0,83 de P; 0,61 a 3,97 de K; 0,60 a 5,58 de Ca; 0,12 a 0,86 de Mg. O Zn e Cu (g ha⁻¹) variou de 0,8 a 8,6 (para o Zn) e 0,1 a 10,3 (para o Cu). Considerando 100 árvores ha⁻¹ e uma contribuição equitativa das espécies estudadas e somando-se as quantidades de nutrientes no material senescente e no material verde (poda) aportados no ano, a contribuição total (kg ha⁻¹ ano⁻¹) de nutrientes ao solo é de 42,4 de N; 2,28 de P; 16,16 de K; 24,86 de Ca; 3,23 de Mg, 0,0447 de Zn e 0,0268 de Cu.

A produção média de café em coco dos agricultores experimentadores de

SAFs na região é em torno de 1.271 kg ha⁻¹ (informação pessoal), sendo a extração de nutrientes (kg ha⁻¹) necessária para esta produção é de 20,3 de N; 1,9 de P, 33 de K; 4,4 de Ca; 1,9 de Mg, 0,019 de Cu; e 0,051 de Zn (MALAVOLTA, 1987). Logo, considerando os teores de nutrientes aportados anualmente (considerando 100 árvores ha⁻¹), há reposição pelas árvores de maioria dos nutrientes exportados pela produção do café, exceto K e Zn. As espécies que aportaram maiores quantidades de K foram o fedegoso e o ingá e de Zn foram o fedegoso, o açoita-cavalo e o ingá. Pode então ser uma estratégia utilizar um maior número de indivíduos destas espécies nos SAFs.

Considerando o conteúdo de nutrientes no material senescente, as espécies que contribuíram com o maior aporte de nutrientes foram o fedegoso, açoita-cavalo, ingá e abacate. Simulando um SAF composto por 100 árvores, utilizando-se apenas estas espécies, numa mesma proporção, o aporte de nutrientes (kg ha⁻¹) seria na ordem de 65,4 de N, 3,27 de P, 22,68 de K, 37,83 de Ca, 5,1 de Mg, 0,069 de Zn e 0,038 de Cu.

3.3. Fixação Biológica do N₂ atmosférico

No Quadro 24 é apresentado o incremento anual de biomassa, a abundância natural de ¹⁵N, os teores médios de N total e a fixação biológica de nitrogênio pelas espécies leguminosas.

Quadro 24: Incremento anual de biomassa, abundância natural de ¹⁵N ($\delta^{15}\text{N}$), teores médios de N-total e fixação biológica de nitrogênio em espécies arbóreas leguminosas, usadas em sistemas agroflorestais com café na Zona da Mata mineira.

Espécie	Biomassa aérea			$\delta^{15}\text{N}$	N-Total	FBN	FBN'
	10/05	10/06	Incremento				
	.....(kg árvore ⁻¹).....			(‰)	(dag.kg ⁻¹)	(%)	(kg ha ⁻¹)
Mulungu	247,3 ± 72,3	382,7 ± 07,8	135,4 ± 39,3	5,4 ± 1,5	1,54 ± 0,25	22,6 ± 17	69,2 ± 48
Fedegoso	183,9 ± 70,4	304,3 ± 124,8	120,4 ± 55,0	5,9 ± 0,2	1,78 ± 0,35	16,6 ± 2	54 ± 29
Ingá	91,2 ± 15,9	114,9 ± 23,0	39,3 ± 5,7	5,6 ± 0,8	1,07 ± 0,19	20,6 ± 9	10,3 ± 7
Picão	-	-	-	7,14	-	-	-
Capim marmelada	-	-	-	7,46	-	-	-

A maior porcentagens de FBN foi verificada para o mulungu (22,6 %), seguida pelo ingá (20,6%). Pelos resultados o fedegoso apresentou 16,6% de FBN,

embora segundo BARBERI et al. (1998) e FARIA et al. (1984) esta espécie não fixa nitrogênio. Pode-se inferir que a quantificação indireta da fixação não é acurada o suficiente ou que algum outro processo, para além do escopo deste trabalho esteja ocorrendo. No geral os valores percentuais de fixação encontrados foram baixos, mas o ingá, por exemplo, encontrava-se em período de frutificação no período de realização da amostragem. Nos períodos de frutificação e florescimento ocorre grande realocação de nutrientes, principalmente de N, de outras partes da planta (inclusive das folhas amostradas) para a formação das estruturas reprodutivas, no caso, flores, frutos e sementes. Com base em nossos resultados e considerando 100 árvores por hectare de SAFs estima-se que o mulungu fixou 69,2 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, fedegoso 54 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e ingá 10,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ do picão e do capim marmelada usadas como plantas referência neste estudo foram de 7,41 e 7,47 ‰. Entretanto, as espécies referência usadas são herbáceas e apresentam sistema radicular superficial quando comparada às espécies leguminosas que possuem porte elevado e sistema radicular profundo. Como os valores de $\delta^{15}\text{N}$ variam com a profundidade do solo, sendo encontrados valores menores nas camadas de 0 - 10 cm e maiores em profundidades superiores (LEDGARD et al., 1984; MORAIS et al., 2006), a FBN pode ter sido subestimada.

4. CONCLUSÃO

As espécies que apresentaram os maiores teores de nutrientes em seu material verde foram o papagaio, o mulungu, o fedegoso, o abacate, e o ipê-preto. Algumas destas espécies apresentaram grande realocação dos nutrientes, especialmente de N (papagaio e mulungu), P (abacate e fedegoso) e K (papagaio, fedegoso e abacate). Neste caso, para maximizar o potencial de ciclagem de nutrientes destas espécies deve se realizar a poda das árvores. Entretanto, o fedegoso, o ingá e o abacate, junto com o açoita-cavalo, foram também as espécies que mais aportaram material senescente. Como consequência, sem necessidade de poda, estas espécies aportaram a maior quantidade de nutrientes ao sistema. O

aporte de nutrientes de cada espécie variou de acordo com as estações e os órgãos da planta.

As espécies avaliadas possuem características e dinâmicas diferentes, portanto, ao utilizar sistemas diversificados é possível ter uma ciclagem de nutrientes constante e equilibrada nestes sistemas, assim os resultados aqui apresentados permitem concluir com clareza que a melhor estratégia para usar o potencial das árvores nativas da Mata Atlântica em SAFs é através da diversificação dos sistemas.

CAPÍTULO 3

DECOMPOSIÇÃO E MINERALIZAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA

RESUMO

A consolidação de sistemas mais sustentáveis de uso da terra tem sido objetivo de pesquisadores, extensionistas e agricultores da Zona da Mata. A adoção de sistemas agroflorestais (SAFs) com café, principal cultura de renda da região, têm sido apontado como um destes usos. Com os SAFs os agricultores obtiveram grande êxito, restabelecendo a qualidade do solo necessária para a produção e recuperando áreas consideradas de preservação permanente. Nestes sistemas, algumas espécies arbóreas, principalmente nativas são apontadas pelos agricultores como compatíveis ao consórcio com café. Entretanto, pouco se conhece sobre as características dessas espécies que interferem na ciclagem de nutrientes, por elas realizadas. Objetivou-se neste trabalho avaliar as características dos resíduos dessas espécies arbóreas relacionando-as à velocidade de decomposição e liberação de nutrientes. Para isso, determinou-se os teores de lignina, polifenóis, celulose, hemicelulose e os teores de C, N e P, avaliou-se a evolução de C-CO₂ em laboratório e a taxa de decomposição e liberação de nutrientes em campo. As relações C/N, C/P, Lignina/N, Lignina/Polifenol, Polifenol/N, Lignina + polifenol/N apresentaram no geral valores mais elevados para galhos em relação a folhas, demonstrando estar

presente nos galhos maior quantidade de compostos de mais difícil degradação. A taxa de decomposição, medidos pela evolução de C-CO₂ foi maior para o fedegoso, o mulungu, o ipê-preto e o papagaio e menores para o abacate, o ingá e o açoita-cavalo. Entre os índices testados para prever a velocidade de decomposição dos materiais das diferentes espécies, as relações lignina/N e lignina + polifenol/N, foram as que melhor explicaram a decomposição apresentando correlação negativa durante todo o período de avaliação. O teste de decomposição em campo do material das espécies leguminosas apresentou rápida decomposição e liberação de nutrientes das folhas do mulungu, seguida de fedegoso e mais lenta do ingá. A decomposição mais rápida leva a liberação de nutrientes também mais rápida, entretanto, a lenta decomposição e conseqüentemente, a permanência deste material no solo confere maior proteção contra o impacto direto da chuva e a instalação de processos erosivos que se constituem um problema para os solos da região. Os nutrientes mais rapidamente disponibilizados do resíduo das espécies leguminosas foi o K. Os mais lentos foram o Mg e o Ca. As diferentes características das espécies aqui estudadas apontam para a importância da diversificação para o aproveitamento do potencial de cada espécie na sustentabilidade dos SAFs.

PALAVRAS-CHAVE: Evolução de C-CO₂, índices de decomposição, espécies arbóreas, liberação de nutrientes.

1. INTRODUÇÃO

Sistemas agroflorestais (SAFs) são considerados alternativas de uso sustentável dos solos devido, entre outros, aos benefícios destes na melhoria e manutenção da qualidade dos solos (YOUNG, 1997).

A região da Zona da Mata mineira possui predominantemente Latossolos, sendo estes solos profundos, bem drenados, ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes, em especial o fósforo (KER, 1995). Apesar da baixa produtividade das terras, devido a uma história de uso intenso dos solos, a agricultura familiar de subsistência é predominante e tem importância vital para a região, principalmente no que se refere à produção de alimentos. Atualmente os solos são usados, principalmente, com pastagem e café, quase sempre consorciado com feijão, milho e outras culturas de subsistência.

Com o objetivo de melhorar a qualidade dos solos da região, agricultores da Zona da Mata mineira iniciaram em 1994, a experimentação participativa com SAFs com café (CARDOSO et al., 2001; SOUZA 2006), principal cultura de renda da região. Tais experiências foram sistematizadas recentemente (SOUZA, 2006) e os agricultores indicaram várias espécies arbóreas (maioria nativas da Mata Atlântica) compatíveis com o consórcio com o café, entre elas o fedegoso (*Senna macranthera*), o mulungu (*Erythrina verna*), o papagaio (*Aegiphila sellowiana*), o ingá (*Inga subnuda*), o açoita-cavalo (*Luehea grandiflora.*), o ipê-preto (*Zeyheria tuberculosa*) e o abacate (*Persea americana*).

Nos SAFs, as árvores utilizadas no consórcio representam uma fonte de material orgânico de grande benefício para o solo e para as plantas cultivadas. O aporte de material vegetal das árvores regula a biomassa microbiana, afetando conseqüentemente a mineralização de C, a ciclagem da matéria orgânica (MO) e melhorando a qualidade do solo (DINESH et al., 2004).

A utilização de espécies nativas nos SAFs devem ser priorizadas em relação as exóticas, pois, estas possuem mecanismos eficientes para lidar com a acidez trocável e com baixos níveis de nutrientes disponíveis no solo, principalmente o N e

o P (KANMEGNE et al., 1999; RADERSMA, 2002). Em especial, as espécies da família Leguminosae destacam-se pela capacidade de associação com bactérias fixadoras de N_2 , o que contribui para a incorporação contínua de N nos sistemas estimulando com isto a ciclagem de outros nutrientes (SÁ; VARGAS, 1997).

No processo de ciclagem de nutrientes é necessária a decomposição e liberação de nutrientes do material vegetal. Este processo é essencialmente biológico, associado portanto, à composição e atividade da comunidade decompositora e sujeito à interferência de diversos fatores do meio entre os quais se destacam a temperatura, a umidade, o pH, os teores de O_2 e de nutrientes do solo, especialmente a disponibilidade de Nitrogênio (ROBERTSON; MORGAN, 1996). A qualidade do resíduo e a quantidade de biomassa disponível também constituem fatores importantes a serem considerados no processo.

A qualidade do resíduo está normalmente associada à composição química e bioquímica do material e à quantidade de energia necessária para a sua decomposição. Portanto a qualidade do resíduo pode ser medida pelos teores de C, N, P, lignina, celulose, hemicelulose e polifenóis, juntamente com suas inter-relações lignina/N, (lignina + polifenóis)/N, lignina/polifenóis, e polifenóis/N (MENDONÇA; STOTT, 2003; THOMAS; ASAKAWA, 1993). Vários estudos procuram prever, a partir de tais características, as taxas de decomposição dos resíduos e seus efeitos na disponibilidade de nutrientes no solo. Em geral altos conteúdos iniciais de nutrientes, principalmente N e P, podem ser responsáveis por altas taxas de decomposição e liberação de nutrientes para o sistema, pois favorece o crescimento e a atividade microbiana. Ao contrário, materiais com altos conteúdos de C e baixos de N e P (altas relações C/N e C/P) podem levar à imobilização desses nutrientes pelos organismos decompositores.

Quando os resíduos apresentam altos teores de lignina e polifenóis ativos, a decomposição e liberação de nutrientes são lentas e o N aplicado via material vegetal não se torna disponível para as plantas, embora permaneça no solo podendo contribuir para a manutenção da matéria orgânica do solo. Já os resíduos ricos em N, com baixos teores de lignina e polifenóis, decompõem-se rapidamente e promovem a liberação de grande quantidade de N, durante os estádios iniciais do

crescimento da cultura, mas podem não contribuir para a manutenção da matéria orgânica do solo (HÄTTENSCHWILER; VITOUSEK, 2000; IBEWIRO et al., 2000). Segundo HADAS et al. (2004) e HANDAYANTO et al. (1995) a relação (lignina + polifenóis)/N explicam melhor as taxas de decomposição do que a concentração de N, lignina, polifenóis e relação C/N.

Conteúdos elevados de polifenóis e lignina inibem o crescimento e atuação de decompositores e outros organismos (HATTENSCHWILER, 2005) e reduzem a liberação de nutrientes de materiais orgânicos, em função da proteção física e química do ataque microbiano aos constituintes protéicos da parede celular, ao sobrepor-se às camadas de celulose e hemicelulose (COBO et al., 2002; MAFONGOYA et al., 1998). Polifenóis também se combinam às proteínas e aminoácidos vegetais para formarem as substâncias húmicas do solo (HATTENSCHWILER; VITOUSEK, 2000; WATERMAN; MOLE, 1994).

Portanto, para o estabelecimento de estratégias de uso e manejo das espécies arbóreas nos SAFs, com vistas a potencializar a ciclagem de nutrientes, são necessárias informações a respeito da qualidade dos resíduos e dos processos de decomposição e de liberação de nutrientes dos resíduos provenientes destas espécies. Tais informações são inexistentes ou escassas para as espécies nativas da Mata Atlântica (SOUZA, 2006). Estudos desta natureza podem revelar características positivas das espécies e incentivar o seu uso em SAFs, o que contribuirá por sua vez para a preservação de espécies da Mata Atlântica, bioma de grande importância para a biodiversidade (MYERS et al., 2000).

Com isto, objetivou-se neste trabalho, avaliar as características relacionadas à decomposição e liberação de nutrientes de resíduos de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas em SAFs na Zona da Mata. Mais especificamente, objetivou-se caracterizar química e bioquimicamente o material das espécies; avaliar a velocidade de decomposição e disponibilização de nutrientes a partir de folhas destas espécies; e correlacionar as características químicas e bioquímicas das folhas com a decomposição e disponibilização de nutrientes para as culturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido nos Municípios de Araponga (20° 48' S e 42° 32' W) e Divino (20° 33' S e 42° 11' W), ambos localizados na Zona da Mata, região sudeste de Minas Gerais, no Bioma da Mata Atlântica (Figura 1, Capítulo 1). A temperatura média da região é de 18 °C, a precipitação anual varia de 1.200 a 1.800 mm, com um período seco de 2 a 4 meses. O relevo é montanhoso com declividade variando de 20 a 45% nas encostas (GOLFARI, 1975). A classe predominante de solos é a dos Latossolos (KER, 1995). A região é caracterizada pela agricultura familiar e grande parte da população ainda reside no meio rural.

No Quadro 1, do capítulo 1, encontra-se a identificação e localização de espécies arbóreas selecionadas para estudo de características que interferem na ciclagem de nutrientes das espécies.

2.1 Caracterização química e bioquímica dos materiais

Para a caracterização química e bioquímica do material vegetal, foram selecionadas ao acaso quatro indivíduos (considerados repetições) de cada uma de sete espécies arbóreas utilizadas em SAFs da região. Em junho de 2006, foram coletadas amostras de folhas e de galhos (com diâmetro inferior a 4,0 cm), na posição mediana da copa em pontos localizados nas posições norte, sul, leste e oeste da copa da árvore. Amostras de frutos das diferentes espécies foram coletadas seguindo os mesmos critérios, porém em épocas diferentes, dependendo do período de frutificação das espécies. Para o açoita cavalo e fedegoso a coleta foi realizada em junho em quatro árvores; para o ingá, em duas árvores no mês de julho; para o ipê-preto em uma árvore no mês de setembro. Não foi possível coletar frutos do papagaio, do mulungu e do abacate. O material coletado foi submetido à secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C por 72 horas e moídos para a realização das análises. A caracterização bioquímica foi realizada em amostra composta de amostras equivalentes (peso) das repetições de cada espécie, para cada órgão vegetal. Por exemplo, uma amostra composta de folha de mulungu foi

composta de amostras de folhas de mulungu da repetição 1 + folhas da repetição 2 + folhas da repetição 3 + folhas da repetição 4, o mesmo se fez para as outras espécies e os diferentes órgãos da planta analisadas.

Os teores de Carbono (C) foram determinados por via úmida, utilizando o método da oxidação com Dicromato de Potássio em meio ácido, usando uma fonte externa de calor. Os teores de Nitrogênio (N) foram determinados pelo método Kjeldall após digestão sulfúrica os teores de fósforo (P) pelo método colorimétrico, por meio da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em presença de ácido ascórbico conforme BRAGA; DEFELIPO (1974). Os polifenóis solúveis (PP) foram extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis (ANDERSON; INGRAN 1993). Lignina (LG), celulose (CL) e hemicelulose (HC) foram determinadas pelo método da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra detergente ácido (FDA), ou método de Van Soest (GOERING; VAN SOEST, 1970). Os valores de hemicelulose no material analisado, em porcentagem da matéria seca, foram determinados por diferença, subtraindo da FDN a FDA. Os teores de celulose também foram obtidos subtraindo lignina da FDA.

2.2 Mineralização de carbono (evolução de C-CO₂)

A taxa de decomposição dos materiais foi avaliada por meio de ensaio de respirometria, no qual mediu-se a evolução de C-CO₂ utilizando-se o respirômetro de Stotzky, descrito por CURL; RODRIGUEZ-KABANA (1972) e MENDONÇA; MATTOS (2005). Para isso, em outubro de 2005, coletaram-se folhas maduras das 04 repetições de cada espécie. Secou-se o material a 65°C por um período de 72 horas. Após secagem o material foi moído e fez-se a determinação dos teores totais de C e N por combustão seca, utilizando o analisador elementar, Perkin Elmer CHNS/O 2400.

Em frascos de vidro (capacidade de 250 mL), misturou-se uma quantidade de material vegetal correspondente a 2 g de C, a 100 cm³ de solo de horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo. No Quadro 25 é apresentado os resultados da análise química e a determinação da capacidade de campo do solo utilizado para a

incubação. Também foram preparados quatro “frascos controle” contendo o solo sem adição de material orgânico e quatro frascos em branco. As amostras foram preparadas em duplicatas e para distribuição das amostras no respirômetro utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado. A umidade do solo foi elevada e mantida a 70% da capacidade de campo. Os frascos de vidro, contendo o solo e o material vegetal, foram conectados ao sistema e submetidos a fluxo contínuo de ar livre de CO₂. Foram realizadas 15 medições do C-CO₂ evoluído em um período de 888 horas. A quantificação do C-CO₂ foi realizada pela titulação com HCL 0,25 mol L⁻¹ em presença de indicador fenolftaleína.

Quadro 25: Características químicas e capacidade de campo do solo utilizado para incubação de material vegetal.

Características	Unidade	Valores
pH em água ¹	-	4,5
Fósforo disponível (P) ²	mg dm ⁻³	1,0
Potássio disponível (K) ²	mg dm ⁻³	13,0
Cálcio trocável (Ca ²⁺) ³	cmolc dm ⁻³	0,0
Magnésio trocável (Mg ²⁺) ³	cmolc dm ⁻³	0,0
Alumínio trocável (Al ³⁺) ³	cmolc dm ⁻³	1,4
Matéria orgânica (M.O.) ⁴	dag kg ⁻¹	3,6
Fósforo remanescente (P-rem) ⁵	mg L ⁻¹	10,3
Zinco (Zn) ²	mg dm ⁻³	1,3
Ferro (Fé) ²	mg dm ⁻³	46,7
Manganês (Mn) ²	mg dm ⁻³	3,2
Cobre (Cu) ²	mg dm ⁻³	0,33
Capacidade de Campo		
Cap campo	kg kg ⁻¹	0,32

¹Relação 1: 2, 5, TFSA: H₂O; ² Extrator Mehlich -1; ³ Extrator KCl - 1mol/L.; ⁴ M.O = C.O. x 1,724 – Walkley & Black; ⁵ P-rem é a concentração de fósforo da solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a TFSA com solução de CaCl₂ 10 mmol L⁻¹, contendo 60 ml L⁻¹ de P na relação 1:10.

O Cálculo do C-CO₂ (mg)/g⁻¹ de C foi apresentado, considerando o intervalo de tempo utilizado no monitoramento da amostra. A fórmula utilizada para obter esse valor foi:

$$C-CO_2 \text{ (mg)} = (B-V) \times M \times 6 \times (V_1/V_2)$$

Onde:

B = Volume do HCl no branco (mL);

V = Volume de HCl gasto na amostra (mL);

M = Concentração real do HCl (mol L⁻¹);

6 = Massa atômica do carbono (12) dividido pelo n° de mols de CO₂ que reagem com o NaOH (2);

V1 = volume de NaOH usado na captura CO₂ (mL) e V2 = volume de NaOH usado na titulação (mL).

A quantidade total de C-CO₂ produzido a partir do material das espécies foi calculada pelo somatório dos valores obtidos durante cada amostragem.

2.3 Decomposição e liberação de nutrientes

O acompanhamento da decomposição dos resíduos vegetais e liberação de nutrientes foram realizados para as espécies leguminosas mulungu, fedegoso e ingá. Em outubro de 2005 coletou-se o material das árvores. Colocou-se 75 g de material fresco (em duplicata) de quatro árvores (repetições) de cada espécie em sacolinhas de lambri (“litter-bag”) com dimensões de 20 x 20 cm, e com abertura de malha de 2 x 6 mm, permitindo assim, a passagem de microrganismos e alguns invertebrados. Determinou-se também o peso seco inicial das amostras. Na seqüência, as sacolinhas de lambri foram distribuídas aleatoriamente em local sombreado, localizado no campus da Universidade Federal de Viçosa. Na Figura 2, capítulo 1, são apresentados os dados de temperatura média e precipitação mensal de Viçosa, durante o período do experimento.

As coletas foram feitas aos 5, 15, 30, 60, 90, 120 e 150 dias após a instalação dos ensaios de decomposição. Os resíduos vegetais após coletados foram limpos retirando impurezas como solo, insetos, raízes e outros materiais com o auxílio de pincéis e pinças. Em seguida secou-se o material em estufa (65°C) até alcançar peso constante, sendo então pesados para determinação da massa seca e avaliação da perda de peso em relação ao peso inicial.

Para analisar a velocidade de decomposição dos resíduos vegetais e a mineralização dos nutrientes, foi aplicado o modelo exponencial (THOMAS; ASAKAWA, 1993), do tipo:

$$X = X_0 e^{-kt}, \text{ onde:}$$

X = quantidade de matéria seca ou nutriente remanescente após um período de tempo t, em dias; X₀ = quantidade de matéria seca ou nutriente passível de decomposição no início do ensaio, em gramas; k = constante de decomposição; t = tempo de decomposição.

Os tempos de meia vida foram calculados pela equação:

$$t_{1/2} = \ln(2) / k \text{ onde:}$$

t_{1/2} é o tempo de meia vida da matéria seca ou nutriente, ou seja, o tempo necessário para que metade desse resíduo desaparecesse.

Nos resíduos foram determinados os teores totais de N pelo método Kjeldahl após digestão sulfúrica. Também foram determinados, após digestão nitroperclórica, os teores de P, pelo método colorimétrico, por meio da formação da cor azul do complexo fosfato-molibdato em presença de ácido ascórbico conforme BRAGA; DEFELIPO (1974), de Potássio (K) por fotometria de chama e de Cálcio (Ca), e Magnésio (Mg) por espectrofotometria de absorção atômica. A partir destes, foram determinados os percentuais de matéria seca (MS), N, P, K, Ca e Mg remanescentes em relação às quantidades presentes inicialmente, nos resíduos de cada espécie. Em seguida estimaram-se os percentuais de nutrientes liberados.

2.4 Análise dos dados

Foi feita a análise de correlação, entre os teores totais de C-CO₂ evoluído ao longo do tempo de incubação das amostras e os teores de componentes químicos, bioquímicos e relações entre esses componentes. Também foram feitas análises de variância para a respirometria e para decomposição de campo, seguida de comparação planejada (“planned comparisons”) para testar as diferenças entre médias. Foram feitas ainda análises de regressão para determinação das constantes de decomposição. Utilizou-se para as análises estatística o “software” Statistica (STATSOFT INC., 1997).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Composição bioquímica

Os teores de lignina (LG), celulose (CL), hemicelulose (HC), polifenol (PP), C, N, P e a relações C/N, C/P, LG/N, LG/PP, PP/N e (LG + PP)/N das folhas, galhos e frutos das espécies arbóreas fedegoso, mulungu, ingá, papagaio, abacate, ipê-preto e açoita-cavalo encontram-se no Quadro 26.

Nas folhas, os teores (% MS) de lignina variaram de 7,7 (mulungu) a 27,3 (ingá); de hemicelulose de 13,4 (abacate) a 41,6 (mulungu); de celulose de 11,3 (fedegoso) a 21,3 (ingá) e de polifenol de 4,4 (ipê-preto) a 8,3 (açoita-cavalo). Os teores de carbono variaram de 54,6 (ingá) a 66,9 dag kg⁻¹ (ipê-preto); de N de 2 (açoita-cavalo e abacate) a 3,8 dag kg⁻¹ (fedegoso); de P, de 0,11 (açoita-cavalo, ipê-preto e ingá) a 0,2 dag kg⁻¹ (fedegoso, abacate, mulungu e papagaio). As relações: C/N de 15 (papagaio) a 32,6 (açoita-cavalo); C/P de 300,1 (papagaio) a 612,8 (ipê-preto); LG/N de 2,3 (mulungu) a 10,3 (abacate); LG/PP de 1,2 (mulungu) a 5,6 (ingá); PP/N de 1,3 (papagaio) a 4,1 (açoita-cavalo) e (LG + PP)/N de 4,2 (mulungu) a 13,8 (abacate).

Nos galhos os teores (% de MS) de lignina variaram de 11,9 % (mulungu e abacate) a 20,3 % (ingá); de hemicelulose de 20,5 % (ingá) a 30,4 (fedegoso); de celulose de 28 % (mulungu) a 38,4 % (ingá); de polifenol de 1,5 % (ingá) a 3,9 % (açoita-cavalo). Os teores de carbono variaram de 51,5 dag kg⁻¹ (ipê-preto) a 60,5 (mulungu); N de 0,6 dag kg⁻¹ (abacate) a 1,5 (mulungu); de P de 0,04 da g kg⁻¹ (ingá) a 0,14 (mulungu). As relações: C/N de 41,8 (mulungu) a 100,5 (abacate); C/P de 422,3 (mulungu) a 1.402,5 (ingá); LG/N de 8,2 (mulungu) a 21,9 (ingá); LG/PP de 1,2 (mulungu) a 3,7 (açoita-cavalo); PP/N de 1,6 (ingá) a 5,1 (açoita-cavalo) e (LG + PP)/N de 10,2 (mulungu) a 24,6 (abacate).

Nos frutos os teores (% MS) de lignina variaram de 5,4 % (fedegoso) a 14,2 (ingá); de hemicelulose de 15,8 % (fedegoso) a 19,9 % (açoita-cavalo); de celulose de 14,7 % (fedegoso) a 27,4 (açoita-cavalo); de polifenol de 4,8 % (ipê-preto) a 7,3 (açoita-cavalo); Os teores de carbono variaram de 52,2 dag kg⁻¹ (açoita-cavalo) a 60,3 (ipê-preto); de N de 0,07 dag kg⁻¹ (ipê-preto) a 2,6 (fedegoso); de P de 0,008 dag kg⁻¹ (ipê-preto) a 0,2 (fedegoso).

Quadro 26: Teores de lignina (LG), hemicelulose (HC), celulose (CL), polifenol (PP), C, N, e P e suas inter-relações em folhas, galhos e frutos de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais.

Espécies	LG	HC	CL	PP	C	N	P	C/N	C/P	LG/N	LG /PP	PP/N	(LG + PP)/N
	.....dag kg ⁻¹												
	Folhas												
Abacate	21,0	13,4	12,8	7,3	60,7	2,05	0,163	29,7	371,5	10,3	2,9	3,5	13,8
Açoita-cavalo	13,6	19,2	17,2	8,3	65,8	2,02	0,119	32,6	550,9	6,8	1,6	4,1	10,9
Mulungu	7,7	41,6	13,4	6,4	59,0	3,33	0,182	17,7	324,5	2,3	1,2	1,9	4,2
Fedegoso	15,4	24,7	11,3	7,6	62,4	3,63	0,194	17,2	321,9	4,2	2,0	2,1	6,3
Ingá	27,3	23,9	21,3	4,8	54,6	3,17	0,141	17,2	387,5	8,6	5,6	1,5	10,1
Ipê-preto	14,5	17,4	15,5	4,4	66,9	2,24	0,109	29,9	612,8	6,5	3,3	1,9	8,4
Papagayo	18,2	20,5	14,7	4,9	57,1	3,82	0,190	15,0	300,1	4,8	3,7	1,3	6,0
	Galhos												
Abacate	11,9	24,4	29,2	2,0	56,7	0,56	0,059	100,5	963,4	21,1	5,9	3,6	24,6
Açoita-cavalo	14,5	21,8	33,1	3,9	57,4	0,76	0,054	75,3	1067,2	19,0	3,7	5,1	24,1
Mulungu	11,9	26,6	28,0	2,9	60,5	1,45	0,143	41,8	422,3	8,2	4,2	2,0	10,2
Fedegoso	13,2	30,4	34,5	3,3	55,6	0,80	0,066	69,7	847,3	16,6	4,0	4,1	20,7
Ingá	20,3	20,5	38,4	1,5	55,0	0,93	0,039	59,4	1402,5	21,9	13,8	1,6	23,5
Ipê-preto	15,0	22,2	32,0	3,1	51,5	0,82	0,086	62,5	598,0	18,1	4,8	3,7	21,9
Papagayo	17,3	22,6	33,4	2,2	59,4	1,33	0,104	44,5	571,5	13,0	7,8	1,7	14,7
	Estruturas reprodutivas (flores + frutos)												
Açoita-cavalo	14,1	19,9	27,4	7,3	52,2	1,05	0,098	49,6	530,5	13,5	1,9	6,9	20,4
Fedegoso	5,4	15,8	14,7	6,4	57,8	2,61	0,242	22,1	238,9	2,1	0,8	2,4	4,5
Ingá	14,2	16,9	20,7	6,5	55,9	1,27	0,186	44,0	301,0	11,2	2,2	5,1	16,3
Ipê-preto	9,8	16,4	15,1	4,8	60,3	0,07	0,008	917,5	7195,9	149,3	2,1	72,6	221,9

As relações: C/N variaram de 22,1 (fedegoso) a 917,5 (ipê-preto); C/P de 238,9 (fedegoso) a 7195,9 (ipê-preto); LG/N de 2,1 (fedegoso) a 149,3 (ipê-preto); LG/PP de 0,8 (fedegoso) a 2,2 (ingá); PP/N de 2,4 (fedegoso) a 72,6 (ipê-preto); (LG + PP)/N de 4,5 (fedegoso) a 221,9 (ipê-preto).

Como esperado, as relações C/N e C/P dos materiais foram maiores nos galhos, seguidos pelas folhas para a maioria das espécies, exceto para a relação C/P do ipê-preto onde esta foi maior nas folhas do que nos galhos. Tal fato pode ser devido ao período de coleta (junho), quando a planta encontrava-se em período reprodutivo, com os frutos na sua fase final de crescimento. Neste período provavelmente a planta já estava redistribuindo o P dos tecidos da planta, inclusive das folhas, para os frutos. As relações LG/N, LG/PP, PP/N, (LG + PP)/N também apresentaram valores mais elevados nos galhos em relação a folhas.

Os conteúdos de polifenóis foram maiores nas folhas em relação aos galhos, já os conteúdos de celulose e hemicelulose foram comumente maiores nos galhos, em relação às folhas. Resultados semelhantes foram encontrados por MENDONÇA; STOTT, (2003) e CONSTANTINIDES; FOWNES, (1994). Esperava-se também maiores conteúdos de lignina nos galhos em relação às folhas, mas isto não ocorreu para o abacate, o fedegoso, o ingá e o papagaio. Os teores de N, P e C foram maiores nas folhas em relação aos galhos. Nos frutos os conteúdos desses compostos são bastante variáveis em função das proporções entre casca e sementes dos frutos, bem como o estágio de maturação de cada espécie. Entretanto, os frutos de ipê-preto chamam atenção por apresentar baixíssimos teores de N e P (0,07 e 0,008 dag kg⁻¹ respectivamente) resultando numa elevada relação C/N e C/P (917,5 e 7195,9), enquanto, os frutos de fedegoso apresentam altos conteúdos de N e P (2,61 e 0,247 dag kg⁻¹ respectivamente) e menores relações C/N e C/P (22,1 e 238,9), assemelhando-se aos valores apresentados em material foliar das espécies.

3.2 Carbono mineralizável

A evolução de C-CO₂ do material foliar das espécies arbóreas, durante 888 horas, encontra-se na Figura 6.

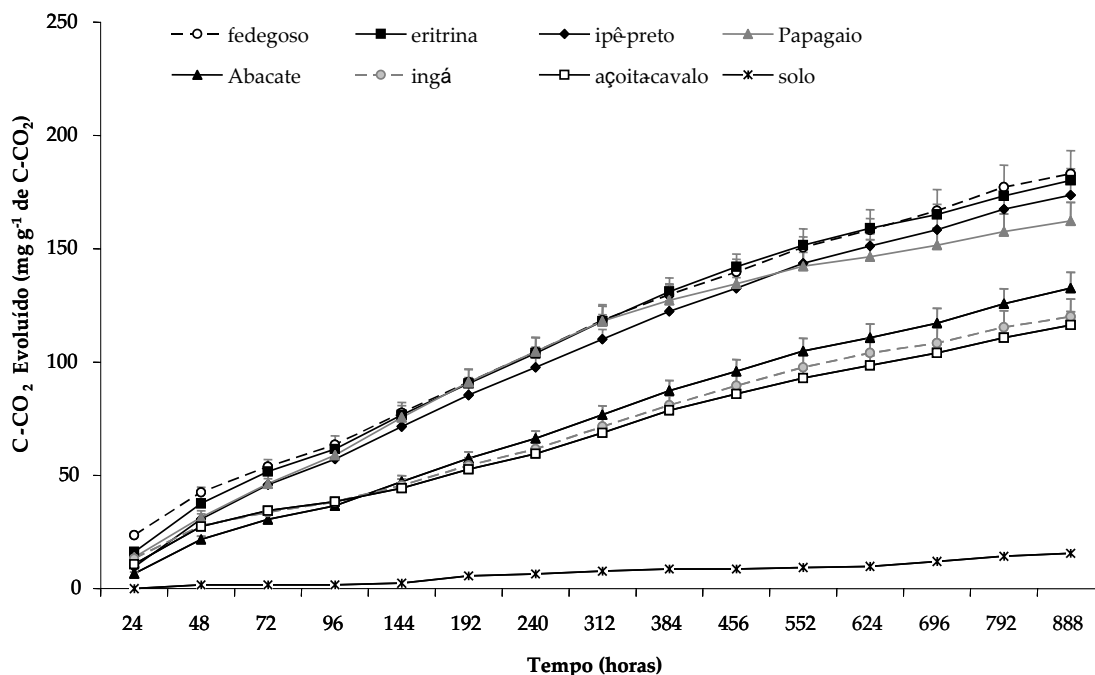


Figura 6: Evolução de C-CO₂ a partir de material foliar de espécies arbóreas, utilizadas em SAFs na Zona da Mata de Minas Gerais, ao longo de 888 horas de incubação.

A interação entre espécie e tempo foi significativa ($P < 0.01$). Ao final das 888 horas houve efeito de espécies ($p < 0.01$). No ANEXO 3 encontram-se as análises de variâncias.

O C-CO₂ acumulado (mg g^{-1} de C-CO₂ a partir da MS) nas 888 horas de incubação do material foliar das espécies foi maior ($p < 0.05$) para o fedegoso (183,10), mulungu (180,20), ipê-preto (173,72) e papagaio (162,29) apresentando valores semelhantes ($p < 0,1$) de evolução C-CO₂ entre si. As espécies, abacate (132,63), o ingá (120,06) e açoita-cavalo (116,33) apresentaram também valores semelhantes ($p = 0,17$) entre si.

No Quadro 27 são apresentados os valores de correlação (r) entre o C-CO₂ evoluído de material foliar das espécies arbóreas estudadas ao longo do tempo de incubação das amostras e os teores de componentes químicos e bioquímicos bem como as principais relações entre esses componentes presentes.

Quadro 27: Coeficientes de correlação (*r*) entre o C-CO₂ evoluído de material foliar e os teores de componentes químicos e físicos e principais inter-relações entre esses componentes presentes, determinados para espécies arbóreas usadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais ao longo de 888 horas de incubação

T ¹ (h)	LG ²	HC ³	CL ⁴	PP ⁵	C ⁶	N ⁷	P ⁸	C/N	C/P	LG/N	LG/PP	PP/N	(LG + PP)/N
24	- 0,2558	0,5518	- 0,3286	0,1770	- 0,1727	0,7751*	0,6238	- 0,6991 [#]	- 0,5171	- 0,6975 [#]	- 0,2438	- 0,4363	- 0,7109 [#]
48	- 0,5361	0,6460	- 0,4451	0,0693	0,0340	0,6901 [#]	0,5231	- 0,5886	- 0,3466	- 0,8650*	- 0,4086	- 0,4730	- 0,8597*
72	- 0,6338	0,5909	- 0,5501	- 0,1244	0,0926	0,6563	0,5109	- 0,5396	- 0,2939	- 0,9042**	- 0,4133	- 0,5609	- 0,9201**
96	- 0,5975	0,5067	- 0,5630	- 0,2329	0,0832	0,6495	0,5055	- 0,5297	- 0,2835	- 0,8656*	- 0,3463	- 0,6115	- 0,9049**
144	- 0,5696	0,4679	- 0,5977	- 0,2767	0,0489	0,6428	0,5366	- 0,5294	- 0,3183	- 0,8266*	- 0,3173	- 0,6272	- 0,8781**
192	- 0,5535	0,4441	- 0,5978	- 0,3002	0,0379	0,6400	0,5387	- 0,5274	- 0,3222	- 0,8098*	- 0,2974	- 0,6351	- 0,8669*
240	- 0,5529	0,4403	- 0,6086	- 0,2963	0,0361	0,6367	0,5460	- 0,5248	- 0,3291	- 0,8045*	- 0,3008	- 0,6302	- 0,8610*
312	- 0,5507	0,4481	- 0,6144	- 0,2896	0,0256	0,6436	0,5589	- 0,5335	- 0,3438	- 0,8053*	- 0,3031	- 0,6310	- 0,8619*
384	- 0,5778	0,4656	- 0,6246	- 0,2776	0,0510	0,6165	0,5404	- 0,5087	- 0,3225	- 0,8090*	- 0,3294	- 0,6133	- 0,8592*
456	- 0,5840	0,4835	- 0,6248	- 0,2755	0,0565	0,6051	0,5305	- 0,5025	- 0,3147	- 0,8073*	- 0,3352	- 0,6118	- 0,8573*
552	- 0,5794	0,4739	- 0,6311	- 0,2742	0,0749	0,5866	0,5156	- 0,4860	- 0,2982	- 0,7921*	- 0,3339	- 0,6056	- 0,8429*
624	- 0,5844	0,4833	- 0,6289	- 0,2673	0,0902	0,5718	0,4989	- 0,4740	- 0,2819	- 0,7885*	- 0,3400	- 0,5988	- 0,8377*
696	- 0,5882	0,4675	- 0,6487	- 0,2426	0,1166	0,5543	0,4946	- 0,4538	- 0,2712	- 0,7786*	- 0,3559	- 0,5763	- 0,8224*
792	- 0,5851	0,4581	- 0,6622	- 0,2232	0,1355	0,5360	0,4878	- 0,4366	- 0,2622	- 0,7631*	- 0,3643	- 0,5586	- 0,8041*
888	- 0,5968	0,4593	- 0,6752 [#]	- 0,2093	0,1481	0,5169	0,4835	- 0,4188	- 0,2562	- 0,7575*	- 0,3812	- 0,5401	- 0,7935*

[#] p < 0,10%; * p < 0,05% e ** p < 0,01%; ¹ Tempo, ² Lignina, ³ Hemicelulose, ⁴ Celulose, ⁵ Polifenol, ⁶ Carbono, ⁷ Nitrogênio, ⁸ Fósforo

Inicialmente a mineralização do CO₂, ou seja, a taxa de decomposição do resíduo vegetal correlacionou-se com o N ($r_{24h} = 0,77$; $p = 0,041$ e $r_{48h} = 0,69$; $p = 0,086$) e ao final com a celulose (CL) ($r_{888h} = 0,67$; $p = 0,096$). Durante todo o ensaio houve correlação entre o C-CO₂ evoluído das espécies e as relações: LG/N (p variando de 0,005 a 0,081) e (LG + PP) /N (p variando de 0,003 a 0,073).

Resíduos vegetais com relação C/N em torno de 12 a 15 e baixos valores de lignina e de polifenóis (0,5 a 5%) são considerados como de alta qualidade e podem decompor-se mais facilmente (TIAN et al., 1992), liberando os nutrientes mais rapidamente e disponibilizando-os para o solo. Seguindo este padrão pode-se dizer que a maioria dos resíduos estudados é de difícil decomposição, sendo o papagaio (teores de PP e de LG, de 4,9 e 18,2% respectivamente) e o ipê-preto (teores de PP e de LG, de 4,4 e 14,5% respectivamente) os de decomposição mais rápida. Poucas informações foram encontradas na literatura a respeito das espécies estudadas.

O ingá apresentou PP de 4,8% (Quadro 26), este foi considerado baixo comparado com as outras espécies estudadas, entretanto apresentou o maior teor de LG (Quadro 26) e também altas relações LG/N e (LG + PP)/N nas folhas indicando ser esta, a causa de sua lenta decomposição (Figura 6).

Além do o ingá, o abacate e ipê-preto também apresentaram altas relações LG/N e (LG + PP)/N nas folhas (Quadro 26). Essas três espécies apresentaram também a menor mineralização de carbono, durante 888 horas de experimento (Figura 6), e portanto menor velocidade de decomposição. Portanto, no estudo aqui apresentado as relações (LG + PP)/N (HADAS et al., 2004; HANDAYANTO et al., 1995) e LG/N (Quadro 27) explicam melhor as taxas de decomposição.

3.3 Decomposição e liberação de nutrientes

As porcentagens de matéria seca remanescente (MS), das leguminosas arbóreas utilizadas nos SAFs, ao longo de 150 dias encontram-se na Figura 7. No ANEXO 4 encontra-se o quadro de análise de variância.

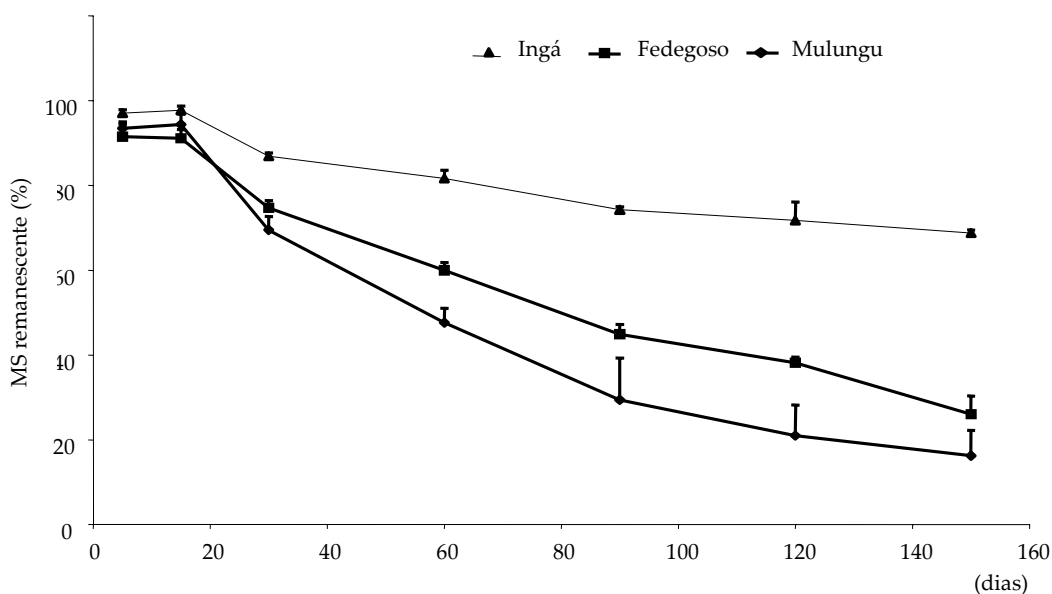


Figura 7: Matéria seca remanescente das leguminosas arbóreas utilizadas nos SAFs ao longo de 150 dias de incubação.

Ao final de 150 dias o ingá apresentou 69 % de MS remanescente, fedegoso 26 % e mulungu 16 %. Nos primeiros dias a MS das diferentes espécies não diferiram entre si. A partir de 15 dias os valores apresentaram diferenças ($p < 0,01$) que se acentuaram ao longo de todo o experimento. Entre 15 e 30 dias ocorreu perda de mais de 70% de MS para todas as espécies. Normalmente em torno dos 15 dias ocorre a maior perda de compostos solúveis, mais lábeis e de fácil decomposição (LUPWAYI et al., 2004; MATOS, 2005). Depois deste período a decomposição é mais lenta, pois, inicialmente há uma quantidade maior de materiais facilmente decomponíveis como açúcares, aminoácidos e proteínas, e à medida que o processo avança, há o predomínio dos materiais recalcitrantes como lignina, polifenóis e celulose (HADAS et al., 2004; LUPWAYI et al., 2004, MATOS, 2005). Ao final de 150 dias o ingá apresentou a maior ($p < 0,01$) porcentagem de MS remanescente e o mulungu, a menor ($p = 0,07$). Os dados da decomposição se assemelham aos resultados apresentados para evolução de C-CO₂, os quais mostram a mineralização mais rápida do C para o mulungu, e fedegoso e bem mais lenta para o ingá.

As percentagens de N, P, K, Ca e Mg remanescentes em folhas de mulungu, fedegoso e ingá, ao longo de 150 dias encontram-se nas figuras 8, 9, 10, 11 e 12.

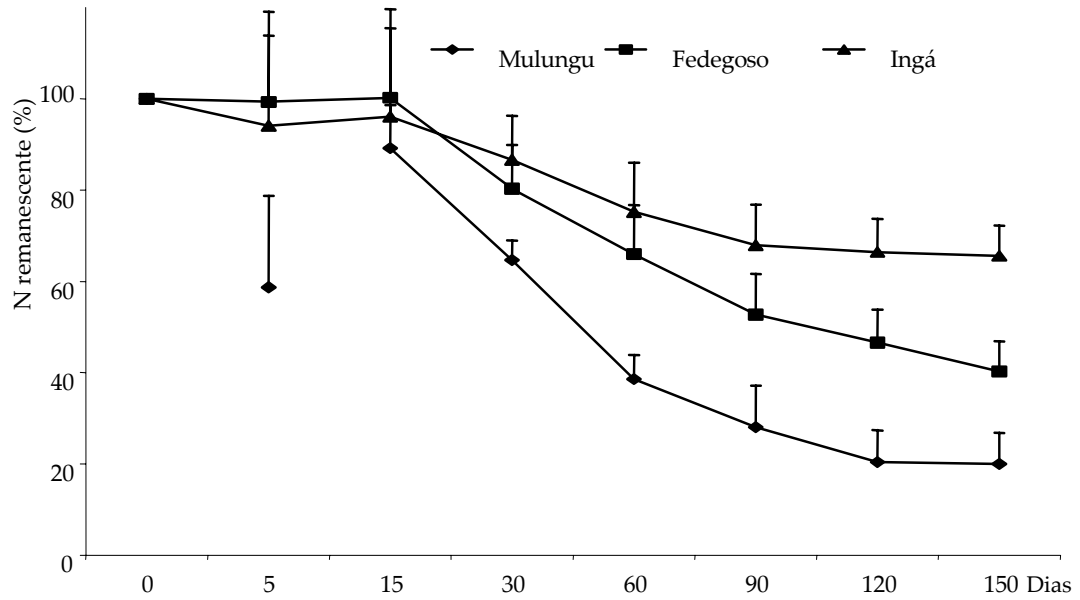


Figura 8: N remanescente em folhas das leguminosas arbóreas ao longo de 150 dias de incubação.

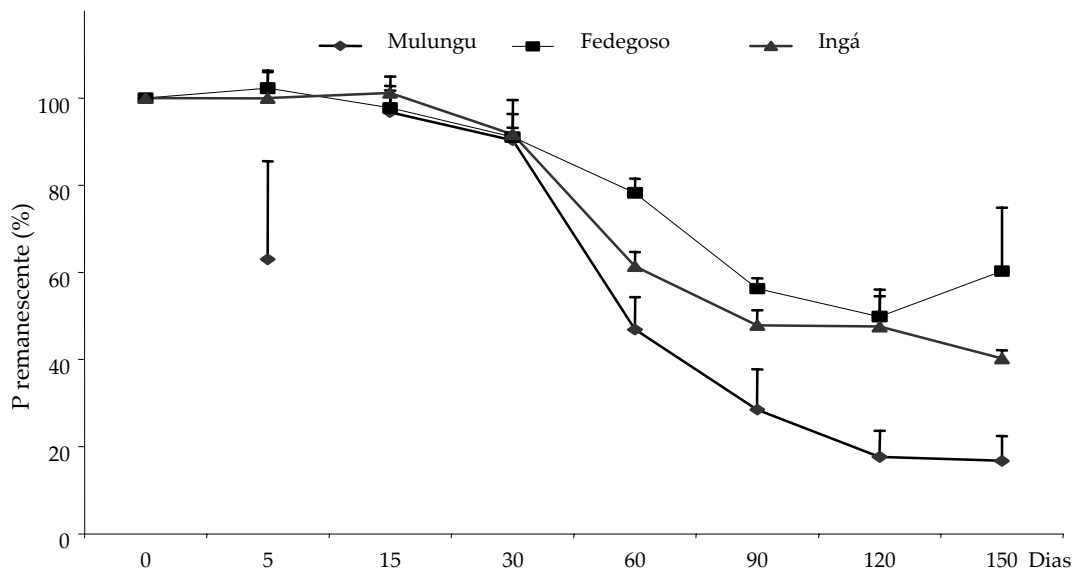


Figura 9: P remanescente em folhas das leguminosas arbóreas ao longo de 150 dias de incubação.

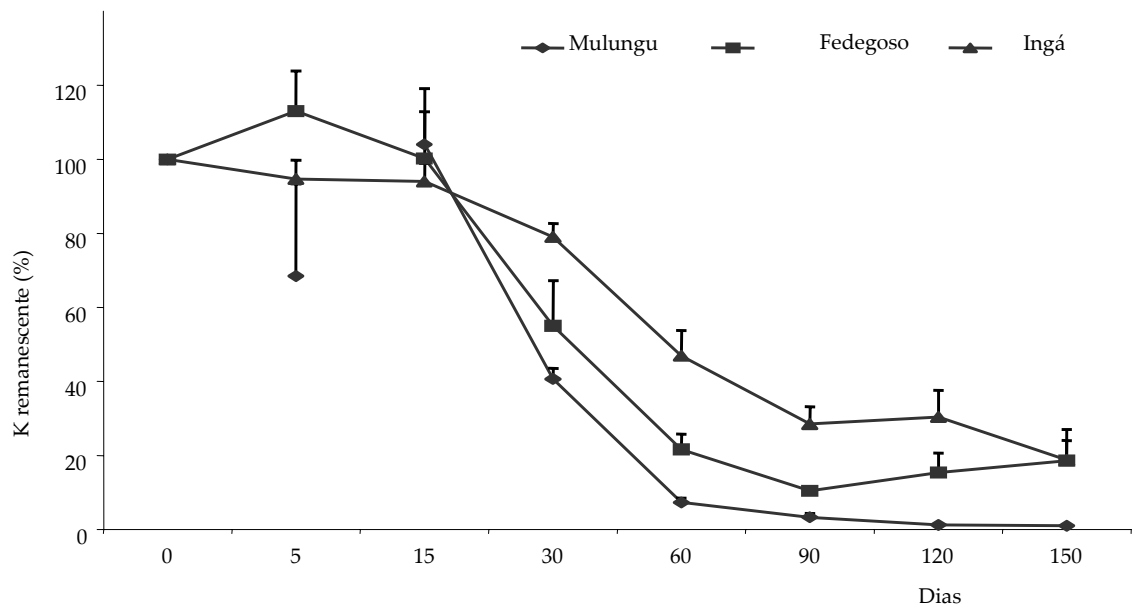


Figura 10: K remanescente em folhas das leguminosas arbóreas ao longo de 150 dias de incubação.

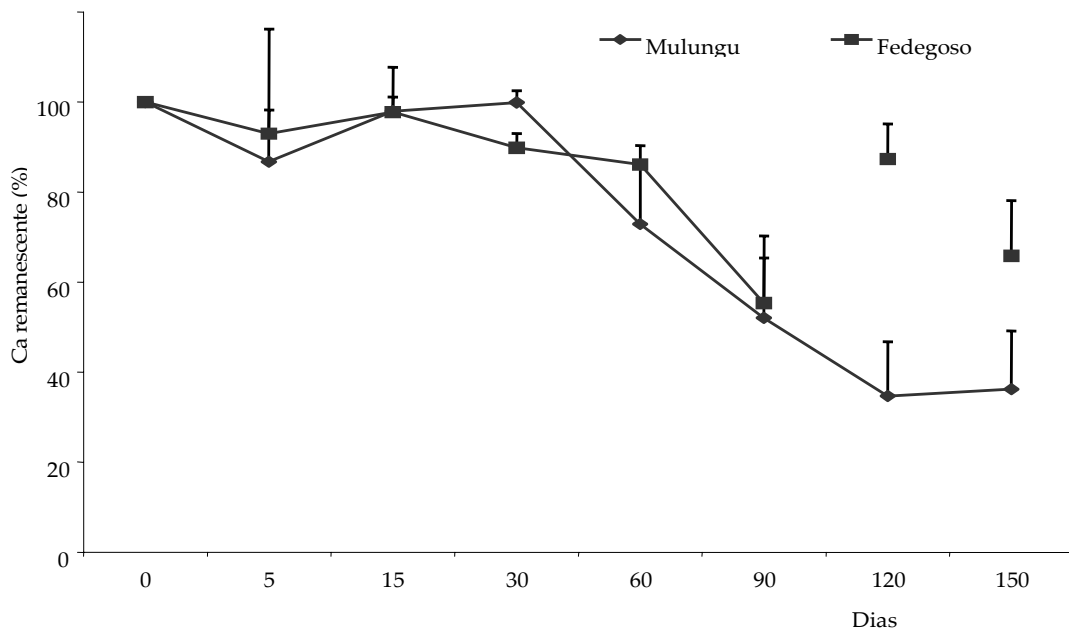


Figura 11: Ca remanescente em folhas das leguminosas arbóreas ao longo de 150 dias de incubação.

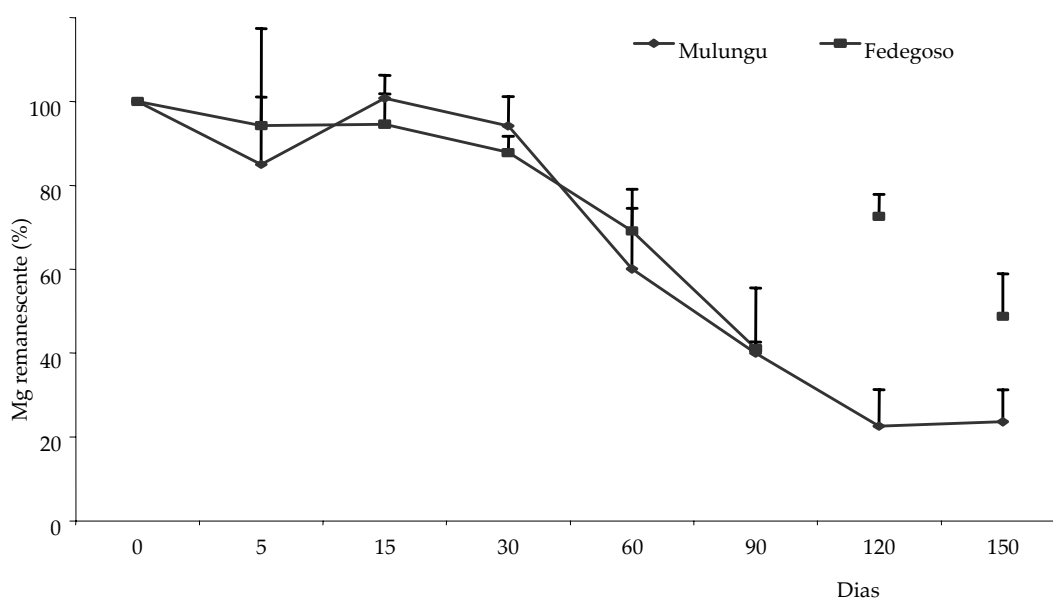


Figura 12: Mg remanescente em folhas das leguminosas arbóreas ao longo de 150 dias de incubação.

No Quadro 28 encontram-se os parâmetros estimados da equação $X = X_0 \cdot e^{-kt}$ ajustada aos valores de MS, N, P, K, Ca e Mg e os respectivos tempos de meia-vida para folhas de mulungu, fedegoso e ingá incubadas na superfície do solo durante 150 dias e R^2 das equações.

No geral, nos primeiros 15 dias, praticamente não ocorreu liberação de nutrientes. Ao final de 150 dias a liberação de N foi de aproximadamente 80 % para o mulungu, 60 % para o fedegoso e 35 % para o ingá; a liberação de P foi de aproximadamente de 80 % para o mulungu, 60 % para o fedegoso e em torno de 50 % para o ingá; para o K a liberação foi de aproximadamente 99 % para o mulungu e 82 % para o fedegoso e ingá; para o Ca foi de aproximadamente 75 % para o mulungu e cerca de 35 % para o fedegoso e para o Mg foi de aproximadamente 80% para o mulungu e 50% para o fedegoso. Os resultados da liberação de Ca e Mg para o ingá não se ajustaram ao modelo, apresentando grande oscilação nos valores de nutrientes e valor de R^2 muito baixo (Quadro 28) e não foram aqui apresentados. De forma geral, os valores da constante de decomposição da matéria seca e, como consequência, os valores $t_{1/2}$ variaram entre as leguminosas, sendo que o mulungu apresentou o maior (0,012) valor de constante de decomposição (k), seguido do

fedegoso (0,008) e do ingá (0,003). Os tempos de meia vida ($t_{1/2}$), também variaram entre as leguminosas e entre os nutrientes. Valores de k (0,010) e $t_{1/2}$ (69 dias) semelhantes foram encontrados para a *Eritrina poepegiana* (PALM; SANCHES, 1990) no Peru, à uma temperatura de 27,1°C e precipitação de 2.200mm. Valores altos de k indicam menor tempo de decomposição. As liberações de N e P, ocorreram em tempos próximos sendo os valores de k maior para o mulungu ($k_N = 0,014$ e $k_P = 0,012$) e menor para o fedegoso ($k_N = k_P = 0,007$) e ingá ($k_N = 0,004$ e $k_P = 0,007$). Esses dados indicam que a dinâmica de liberação de N e P é controlada por fatores similares. A liberação de K é, entre os nutrientes avaliados, a mais rápida, o que se deve, diferentemente do N, P e outros nutrientes, à não participação do K em combinações orgânicas na planta.

Quadro 28: Parâmetros estimados da equação $X = X_0 e^{-kt}$ ajustada aos valores de MS, N, P, K, Ca e Mg e respectivos tempos tempo de meia vida ($t_{1/2} = \ln(2)/k$) para folhas de mulungu, fedegoso e ingá incubadas na superfície do solo durante 150 dias e R^2 das equações.

Espécies	X_0 (g)	K (dia ⁻¹)	$t_{1/2}$ (dias)	R^2
MS				
Mulungu	21,9	0,012	57	0,85**
Fedegoso	29,3	0,008	84	0,92**
Ingá	28,4	0,003	236	0,66**
N				
Mulungu	0,068	0,014	50	0,44**
Fedegoso	0,089	0,007	98	0,52**
Ingá	0,099	0,004	194	0,69**
P				
Mulungu	0,004	0,012	59	0,57**
Fedegoso	0,004	0,007	95	0,86**
Ingá	0,005	0,007	95	0,86**
K				
Mulungu	0,038	0,027	26	0,67**
Fedegoso	0,026	0,017	40	0,80**
Ingá	0,036	0,011	62	0,88**
Ca				
Mulungu	0,027	0,007	104	0,53**
Fedegoso	0,062	0,004	171	0,56**
Ingá	0,011	Não ajustada	Não ajustada	0,19 <i>ns</i>
Mg				
Mulungu	0,002	0,010	70	0,40**
Fedegoso	0,004	0,007	104	0,70**
Ingá	0,003	Não ajustada	Não ajustada	0,02 <i>ns</i>

** $p < 0,01$; *ns* = não significativo

O K é um elemento ativo na planta porém ocorre na forma iônica, sendo facilmente liberado (MALAVOLTA, 1980; KIEHL, 1985). Entre as espécies a liberação de K ocorreu de forma mais rápida para o mulungu, que apresentou constante de decomposição ($k = 0,027$) mais elevada, e mais lenta para o ingá, que apresentou constante de decomposição ($k = 0,011$) mais baixa.

A liberação de Ca e Mg foram as mais lentas, sendo mais rápida para o mulungu ($k_{Ca} = 0,007$ e $k_{Mg} = 0,010$) e menos rápida para o fedegoso ($k_{Ca} = 0,004$ e $k_{Mg} = 0,007$). Estes dois nutrientes ajudam a compor a lamela média da parede celular vegetal, constituindo-se em um dos compostos mais recalcitrantes da célula vegetal (RAIJ, 1991). Para o ingá, as taxas de liberação de Ca e Mg não seguiram o modelo exponencial, apresentando baixos valores de R^2 e não significativos ($R^2_{Ca} = 0,019$; $p_{Ca} = 0,89$ e $R^2_{Mg} = 0,02$; $p_{Mg} = 0,56$). Os tempos de meia vida de liberação de nutrientes variaram de 26 dias (liberação de K pelo mulungu) à 194 dias (liberação de N pelo ingá). Com isto, pode se dizer que a taxa de decomposição e a liberação de nutrientes entre as espécies leguminosas é maior para o mulungu, seguida do fedegoso e do ingá. Para alguns nutrientes como o N no ingá, a taxa de liberação apresenta-se quatro vezes maior em relação ao mulungu e duas vezes maior em relação ao fedegoso. O fedegoso por sua vez, apresenta taxa de liberação do N duas vezes duas vezes maior em relação ao mulungu. Observa-se ainda, que a liberação de N apresenta comportamento semelhante ao da MS, entretanto, os demais nutrientes, P, K, Ca e Mg, não seguem o mesmo padrão de comportamento da MS sendo que, o ingá, que apresentou liberação de MS e da maioria dos nutrientes, mais lenta do que o fedegoso e o mulungu, liberou o P com a mesma velocidade que o fedegoso. Portanto, a espécie influenciou no comportamento de liberação de nutrientes.

A diferenciação na mineralização do C entre as espécies ocorreram devido a diferenciação dos compostos presentes nas folhas analisadas (THOMAS; ASAKAWA, 1993). A mineralização do C mais rápida para o mulungu, o fedegoso, o ipê-preto e o papagaio provavelmente disponibiliza mais rapidamente os nutrientes mas conseqüentemente permite um menor acúmulo de serrapilheira. O abacate e o ingá apresentaram o maior teor de lignina, de celulose e a maior relação lignina/N. O

açoita-cavalo apresentou o maior teor de polifenol e junto com o abacate, a maior relação C/N. O ingá, o abacate e o açoita-cavalo apresentaram as maiores relações (lignina + polifenol) /N (Quadro 26). A presença de lignina e polifenóis que são compostos de degradação mais lenta dificultam a atuação de microrganismos, levando a diminuição da mineralização e disponibilização dos nutrientes por estas espécies.

Estas três espécies foram, juntamente com o fedegoso, as que apresentaram maiores produções de material senescente (Capítulo 1) e maior conteúdo de nutrientes aportados no material senescente (Capítulo 2). Considerando os teores de compostos de difícil degradação e a alta relação entre alguns destes componentes nas folhas e estruturas reprodutivas (principais componentes do material senescente), espera-se que os nutrientes destas espécies não sejam liberados facilmente, em especial os nutrientes de abacate, ingá e açoita-cavalo, entretanto o aporte contínuo de material irá garantir a liberação também contínua de nutrientes. As espécies fedegoso e mulungu apresentaram teores mais elevados de compostos de mais fácil degradação, apontando a possibilidade de liberação mais rápida dos nutrientes dos resíduos destas espécies, com conseqüente reaproveitamento rápido dos nutrientes por parte do sistema radicular das culturas e demais tipos de vegetação presentes nos SAFs.

A menor mineralização de C-CO₂ e a menor velocidade de decomposição das outras espécies e em especial de abacate, ingá e açoita-cavalo pode proporcionar maior acúmulo de material senescente e conseqüentemente maior proteção ao solo, maior umidade e, menor perda de solo por processos erosivos, os quais podem ser elevados em solos declivosos como os da Zona da Mata. A quantificação de terra perdida por ano em lavouras de café (*Coffea arabica*) em SAFs da região foi avaliada na ordem de 217,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹, inferior à dos sistemas convencionais, que apresentaram uma perda média em torno de 2.611,9 kg ha⁻¹ano⁻¹ (CARVALHO; FERREIRA NETO, 2000).

O conhecimento das dinâmicas de decomposição e liberação de nutrientes das espécies, contribui para tomada de decisão em relação ao desenho dos sistemas, pois permite arranjos espaciais onde espécies que produzem materiais de lenta

decomposição e espécies que produzem materiais de rápida decomposição possam ser plantadas no mesmo sistema, como ingá e fedegoso, por exemplo, de forma que os materiais proveniente das duas espécies misturem-se e passem a ter uma taxa de decomposição intermediária, liberando continuamente nutrientes de ambos os materiais, cuja composição também será intermediária, podendo levar a uma ciclagem de nutriente mais equilibrada no sistema e ao mesmo tempo proporcionando proteção ao solo.

4. CONCLUSÃO

O mulungu, o papagaio, o ipê-preto e o fedegoso apresentaram baixos teores de compostos de difícil degradação (lignina e polifenóis) e maiores taxas de respiração enquanto o ingá, o abacate e o açoita-cavalo apresentam altos teores desses compostos e menor taxa de respiração. , portanto, concluiu-se que a é mais lenta decomposição do material orgânico devolvido ao solo pelo ingá, abacate e açoita-cavalo e mais rápida para o fedegoso, mulungu e ipê-preto.

O mulungu e o fedegoso liberam mais rapidamente os nutrientes em relação ao ingá. O comportamento de liberação de cada nutriente difere de acordo com a espécie, mas em geral a taxa de liberação é maior para o K e mais lenta para o Ca e o Mg. Os resultados aqui apresentados sobre as diferentes características das espécies apontam para a importância da diversificação para o aproveitamento do potencial de cada espécie na sustentabilidade dos SAFs.

CONCLUSÃO GERAL

Os dados apresentados referendam a decisão dos agricultores de terem um sistema diverso, uma vez que as espécies possuem características diferentes e complementares. É, portanto, necessário potencializar essas interações entre as diferentes espécies possibilitando melhorias na liberação de nutrientes nestes sistemas, na manutenção de matéria orgânica e conferindo proteção do solo.

Estes dados também contribuem para a constituição de um banco de dados sobre o comportamento e potencial das espécies arbóreas nativas sobre as quais se dispõe de poucas informações acerca da contribuição e da capacidade de ciclagem de nutrientes na literatura corrente.

O mulungu, o fedegoso, o açoita-cavalo e o abacate produziram maiores quantidades de biomassa, sendo essa característica interessante quando se deseja fazer a poda e quando se considera a imobilização de C.

Todas as espécies avaliadas apresentaram altos os teores de algum nutriente, principalmente no material verde, demonstrando assim que cada espécie tem a sua importância para um aporte de nutrientes equilibrado nestes SAFs, entretanto, algumas espécies apresentaram realocação sendo esta maior para os nutrientes N (papagaio e mulungu), P (abacate e fedegoso) e K (papagaio, fedegoso e abacate) chegando a valores de 73% para a realocação de P em abacate. Neste caso, ao fazer a poda das árvores, embora aumente o custo de produção com um gasto maior de mão de obra, os agricultores podem fornecer maiores quantidades de N, P e K para o solo.

As quantidades de material senescente e nutrientes aportados variaram entre as espécies e entre as estações do ano para cada espécie. O fedegoso, o açoita cavalo, o ingá e o abacate foram as espécies mais promissoras no fornecimento de material senescente e nutrientes aos SAFs sendo que as folhas foram o componente principal desse material.

A taxa de decomposição medida pela evolução de C-CO₂ foi maior para o fedegoso, o mulungu, o ipê-preto e o papagaio e menores para abacate, o ingá e o

açoita-cavalo, sendo que o fedegoso, o mulungu, o ipê-preto e o papagaio apresentaram baixos teores de compostos de difícil degradação (lignina e polifenóis) enquanto que o abacate, o ingá e o açoita-cavalo apresentaram teores elevados desses compostos. As diferentes taxas de decomposição e liberação de nutrientes do material destas espécies foram explicadas pelas relações lignina/N e lignina + polifenol/N, sendo que, materiais com baixas relações apresentaram rápida decomposição e, materiais com altas relações apresentaram lenta decomposição, entretanto, a permanência do material de lenta decomposição (alta relação) no solo confere a este proteção contra os efeitos da erosão.

A decomposição e liberação de MS e N aconteceram de forma mais rápida para o mulungu, seguida do fedegoso, e mais lenta para o ingá. Entre os nutrientes, a taxa de liberação foi maior para o K e mais lenta para o Ca e o Mg. A MS e o N apresentaram comportamento semelhante de decomposição e liberação para todas as espécies. Os demais nutrientes, P, K, Ca e Mg, apresentaram comportamento diferente variando de acordo com a espécie. Entre as leguminosas, as maiores porcentagens de FBN foram verificadas para o mulungu (22,6 %) e ingá (20,6%).

O uso de espécies arbóreas diferentes em um mesmo SAF permitiu o aporte contínuo de material senescente sobre o solo, formando uma cobertura estável ao longo de todo o ano, cujo material apresentou características, conteúdos de nutrientes e tempos de liberação destes nutrientes diferentes. Dessa maneira pode garantir a manutenção das diferentes funções desempenhadas pela camada de serapilheira formada sobre o solo resultando em melhorias potenciais nas suas qualidades físicas, químicas e biológicas e conseqüentemente no restabelecimento da qualidade dos solos e das interações ecológicas associadas.

Tais sistemas promovem ainda a autonomia e eleva a satisfação dos agricultores, apontando para uma nova matriz agrícola que concilia aspectos produtivos e conservacionistas sendo inclusive alternativa de uso em áreas de preservação permanente. Numa era em que soluções e alternativas para o uso de fertilizantes solúveis e mecanismos de desenvolvimento limpo são tão necessários, estes sistemas se mostram extremamente viáveis.

BIBLIOGRAFIA

ALTIERI, M. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture, *Front. Ecol. Environ*, n.2: p.35 - 42, 2004.

ANDERSON, J.D.; INGRAM, J.S.I. **Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods**. 2.ed. Wallingford, UK CAB International, 1993. 221p.

APELBAUM, A.; YANG, S. F. Biosynthesis of stress ethylene induced by water deficit. *Plant Physiology*, v.68, n.3: p.594 - 596, 1981.

ARATO, H.D.; MARTINS, S.V.; FERRARI, S.H.S. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. *Rev. Árvore-MG*, v.27, n.5: p.715 - 721, 2003.

BARBERI, A., CARNEIRO, M. A. C., MOREIRA, F.M.S., SIQUEIRA, J. O. Nodulação em leguminosas florestais em viveiros no Sul de Minas Gerais. *Cerne*, v.4, n.1: p.145 -53, 1998

BAYER, C., Manejando os solos agrícolas para alta qualidade em ambientes tropicais e subtropicais. In: XXVI Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, X Reunião Brasileira sobre Micorrizas, VII Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, V Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 2004, Lages. *Anais...* Lages/SC, 2004. CD/Room.

BODDEY, R. M.; PEOPLES, M. B.; PALMER, B.; DART, P.J. Use of the ¹⁵N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, n.57: p.235 - 270, 2000.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *Revista Ceres*, v. 1, n.113: p.73 - 85, 1974.

BRASIL. Resolução CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 369 de 28 de Março de 2006. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 29/03/2006.

BROWN, S.; GILLESPIE, A.J.R.; LUGO, A.E. Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory data. *Forest. Sci.*, n.35: 881 - 902, 1989.

CALDEIRA, M.V. W.; SCHUMACHER, M.V.; TEDESCO, N.; SANTOS, E. M. dos. Ciclagem de nutrientes em *Acácia mearnsii*, de Wild. V. Quantificação do conteúdo de nutrientes na biomassa aérea de *Acácia mearnsii* de Wild. Procedência australiana. *Ciência Rural*, v.30, n.6: p.977 - 982, 2000.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, n.1: p.65 - 68, 2001.

CARDOSO, I.M.; GUIJT, I., FRANCO, F.S.; CARVALHO, A.F.; FERREIRA-NETO, P.S. Continual Learning for Agroforestry System Design: University, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, **Agric. Syst.** n.69: p.235 - 257, 2001.

CARVAJAL, J. F. **Cateto - cultivo e fertilization**. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 2ª ed., 1984, 254p.

CARVALHO, A. F.; FERREIRA NETO, P. S. Evolving leaning in designing agroecological farming systems with small-scaler farmers in Zona da Mata, Brazil. In: GUIJT, I.; BERDEGUÉ, J. A.; LOEVINSOHN, M.; HALL, F. (Ed.). **Deepening the basis of rural resource management**, The Hague: ISNAR, 2000, p. 73 - 88.

CARVALHO, P. E. R., **Espécies florestais brasileiras: Recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. EMBRAPA – CNPF - Colombo PR, Brasília, 1994, 640 p.

CASTILO, J. Z.; LOPEZ, R.A. Nota sobre el efecto de la intensidad de luz em la floración del cafeto. **Cenicafé**, v.17, n.2: p 51 – 60, 1966.

CASTRO P.R.C (Coord); KUGLE R.A. **Ecofisiologia de fruteiras: abacateiro, aceroleira, macieira, Pereira e videira**. Piracicaba. Editora Agronômica Ceres Ltda., 2003, 136 p.

COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L.; THOMAS, R.J. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaves of green manure on a tropical volcanic-ash soil. **Biol. and Fert. Soils**, n.36: p.87 - 92, 2002.

CONSTANTINIDES M.; FOWNES J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biol. & Biochem.**, n.26: p.49 – 55, 1994.

CURL, E.A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E. **Research methods in weed science**. Atlanta: Southern Weed Society, 1972. p.162 - 194.

DEAN, W. **A Ferro e Fogo: a História e a Devastação da Mata Atlântica Brasileira**. 2ª ed. São Paulo. Companhia das Letras, 1996, 484 p.

DIAS, H.C.T.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. Variação temporal e espacial da produção de serapilheira em uma área de floresta estacional semidecídua montana em Lavras-MG. **Revista Árvore** n.21: p.11 - 26, 1997.

DINESH, R.; SURYANARAYANA, M.A.; GHOSHAL CHAUDHURI, S.; SHEEJA, T.E. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. **Soil and Tillage Research**, 77: 69 - 77, 2004.

DINIZ, S.; PAGANO, S.N. Dinâmica de folheto em floresta mesófila semidecídua no município de Araras, SP. I – Produção, decomposição e acúmulo. **Revista do Instituto Florestal** n.9: p.27-36, 1997.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa, 1999, 370p.

FARIA, S.M.; FRANCO, A.A.; JESUS, R.M. DE; MENANDRO, M.S.; BAITELLI, J.B.; MUCCI, E.S.F.; DOBEREINER, J.; SPRENT, J.I. New nodulating legume trees from South-East Brazil. **New Phytologist**, n.98: 317 - 328, 1984

FERNANDES, J. M. **Taxonomia e etnobotânica de Leguminosae Adans. em fragmentos florestais e sistemas agroflorestais na Zona da Mata Mineira**. 2007. 223 p Dissertação de Mestrado. Pós-Graduação em Botânica - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2007.

FERRARI, E.A. Desenvolvimento da agricultura familiar: a experiência do CTAZM. In: Alvarez, V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. (eds.). **O Solo nos Grandes Domínios Morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado**. JARD, Viçosa-BR, 1996, p.233 - 250.

FREITAS, H. R.; CARDOSO, I. M.; JUCKSCH, I. Legislação ambiental e uso da terra: o caso da Zona da Mata de Minas Gerais. **Boletim Informativo [da] Rev. Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa-MG, v.29: p.22 - 27, 2004.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Demográfico** - 2000. Rio de Janeiro. 2000. (Minas Gerais).

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Lavoura permanente**, 2005. (MG). Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php> >. Acesso em: 28 de jul. de 2007.

GARCIA, F. C. P. **Relações sistemáticas e fitogeográficas do gênero *Inga miller* (Leguminosae, Mimosoidea, Ingeae) nas florestas da costa sul e sudeste do Brasil**. 1998. 248 p. Tese de Doutorado, Universidade Estadual Paulista - Instituto de Biociência do Campus de Rio Claro, Rio Claro - SP, 1998.

GODIM, J. A. M.; MOURA, M DE F. V.; DANTAS, A. S.; MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Cienc. Technol. Aliment.**, v.25 (4): p.825 - 827, 2005.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. Washington: United States Department of Agriculture, 1975. 20p. (Agriculture Handbook No. 379).

GOLFARI, L. **Zoneamento Ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Série Técnica, 3. CPFRC. Belo Horizonte. BR. 1975.

GOLLEY, F.B. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida**. São Paulo, ed. da Universidade de São Paulo, 1978. 256p.

HADAS, A.; KAUTSKY, L.; GOEK, M.; KARA, E.E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. **Soil Biol. & Biochem.**, n.36: 255 - 266, 2004.

HANDAYANTO, E.; CADISCH, G.; GILLER, K. E. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. **Plant and Soil**, n.176: p.149 - 160, 1995.

HARDARSON, G.; ATKINS, C. Optimising biological N₂ fixation by legumes in farming systems. **Plant and Soil**, n.252: 41 - 54, 2003.

HÄTTENSCHWILER, S.; Tiunov A.V.; Scheu, S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.** n.36: p.191 - 218, 2005.

HÄTTENSCHWILER, S.; VITOUSEK, P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. **Tree**, n.15: p.238 - 243, 2000.

IBEWIRO, B.; SANGINGA, N.; VANLAUWE, B.; MEREKX, R. Nitrogen contributions from decomposing cover crop residues to maize to a tropical derived savanna. **Nutr. Cycling in Agroecosystems**, n.57: p.131 -140, 2000

KANMEGNE, J.; DUGMA, B.; HENROT, J.; ISIRIMAH, N. O. Soil Fertility Enhancement by Planted Tree-fallow Species in the Humid Lowlands of Cameroon. **Agroforestry Systems**, n.46: p.239 - 249, 1999.

KER, J. C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 1995. 181 p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1995.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: ed. Agron. Ceres Ltda., 1985, 492 p.

KÖNIG, F. G. et al. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa floresta estacional decidual no município de Santa Maria-RS. **Rev. Árvore**, v. 26, n. 4: p.429 - 435, 2002.

LEDGARD, S. F.; FRENEY, J. R.; SIMPSON, J. R. Variations in natural enrichment of ^{15}N in the profiles of some Australian Pasture Soils. **Australian Journal of experimental agriculture**. Victoria. v.22: p.155 -164,1984.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992, 352p.

LUPWAYI, N.Z.; CLAYTON, G.W.; DONOVAN, J.T.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K.; RICE, W.A. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. **Canadian Journal of Soil Science**, n.84: p.403 - 410, 2004.

MAFONGOYA, P. L.; NAIR, P. K. R.; DZOWLA, B. H. Mineralization of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. **Biology and Fertility Soils**, n.27: p.143 - 148, 1998.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: ed. Agron. Ceres, 1980, 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de calagem e adubação das principais culturas**. São Paulo: ed. Agronômica Ceres, 1987, 496 p.

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas-SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 22, n.3: p.405 - 412, 1999.

MATOS, E. S. **Ciclagem de nutrientes por leguminosas herbáceas em cafezais orgânicos**. 2005. 70 p. (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa- MG, 2005.

MATSUMOTO, S. N. (org.). **Arborização de Cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista, ed. UESB, 2004, 213 p.

MEENTMEYER, V.; BOX, E.O.; THOMPSON, R. World patterns and amounts of terrestrial plant litter production. **BioSci.**, v.32: p.125 - 128, 1982.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**. Ed. UFV, 2005, 107p.

MENDONÇA, E.S.; STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agrof. Syst.**, n.57: p.117 - 125, 2003.

MORAIS, R.F.; XAVIER, R. P.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R; URQUIAGA, S. Uso da abundância natural de ^{15}N ($\delta^{15}\text{N}$) no perfil do solo como suporte para a estimativa da FBN. In: FERTBIO: Em busca das Raízes, 2006, Bonito-MS. **Anais...** Bonito-MS: Soc. Brasileira de Ciência do Solo, 2006. 4p. (CD-ROM).

MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A.; MITTTERMEIER, C.G. DA; FONSECA, G.A.B. da; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403: p.853 - 858, 2000.

PALM C. A.; SANCHES P.A. Decomposition and nutrient release patterns of the leaves of tree tropical legumes. **Biotropica**, n.22: p.330 – 332, 1990.

PALM C.A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry Systems**, n.30: p.105 – 124, 1995.

PEOPLES, M.B.; FAIZAH, A.W.; REKASEM, B.; HERRIDGE, D.F. Methods for Evaluating Nitrogen Fixation by Nodulated Legumes in the Field. Australian Center for International Agricultural Research, Australia, Prospect for Using Soil Microorganisms to Improve the Acquisition of Phosphorus by Plants, **Am. J. Plant Physiol.**, n.28: p.897 - 906, 1989.

PRADO, R. DE M.; NASCIMENTO, V. M. do. **Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil**. Ilha Solteira, UNESP/FEIS, 2003, 274p.

RADERSMA, S. **Tree Effects on Crop Growth on a Phosphorus-fixing Ferralsols**. 2002. Ph.D. thesis. Wageningen University Research Center - Wageningen. NL. Richardson, A.E.

RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: ed. Agronômica Ceres, POTAFÓS, 1991, 343 p.

REIS, G. L., LANA; A. M., MAURÍCIO R. M.; NETO, T. Q.; SOUZA, L. F.; MOEREIRA, G. F.; MACHADO R. M. Contribuição anual da arbórea Ipê Felpudo (*Zeyheria tuberculosa* Vell. Bur.) para o solo em macronutrientes e matéria orgânica em um sistema silvopastoril no bioma cerrado. Reunião anual da SB de Zootecnia 43ª, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa – PB: SB de Zootecnia, 2006. CD-ROM.

ROBERTSON, F.A.; MORGAN, W.C. Effects of management history and legume green manure on soil microorganisms under organic vegetable production. **Australian Journal of Soil Research**, n.34: p.427 - 440, 1996.

SÁ, N.M.H.; VARGAS, M.A.T. Fixação biológica de nitrogênio por leguminosas forrageiras. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. ed. **Biologia dos Solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.127-152.

SANCHEZ, P. A. Science in Agroforestry. **Agrof. Syst**, n.30: p.5 - 55, 1995.

SHEARER, G. B.; KOHL, D.H.; VIRGINIA, R.A.; BRYAN, B.A.; SKEETERS, J.L.; NILSEN, E.T.; SHARIFI, M.R.; RUNDEL, P.W. Estimates of N₂ fixation from variation in the natural abundance of ¹⁵N in Sonoran desert ecosystems. **Oecologia** n.56: p.365 – 373, 1983.

- SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. *Agroforestry systems*, v.9: p.233-240, 1992.
- SOUZA, H. N. **Sistematização da experiência participativa com sistemas agroflorestais: rumo à sustentabilidade da agricultura familiar na Zona da Mata mineira**. 2006. 127 p. Dissertação de Mestrado (Solos e Nutrição de Plantas - Departamento de Solos), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.
- SPRENT, J. I. **Nodulation in legumes**. Royal Botanic Gardens, Kew, 2001, 146p.
- STATSOFT.INC., Statistica for Windows.5.1.**Computer program manual**. Tulsa, USA, 1997.
- TEIXEIRA, F. C. P.; REINERT, F.; RUMJANEK, N.G.; BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to *Cratylia mollis* using the ¹⁵N natural abundance technique in the semi-arid Caatinga region of Brazil. *Soil biology & Biochemistry*, n.38: p.1989 – 1993, 2006.
- TEKLAY, T. Sazonal dynamics in the concentration of macronutrients and organics constituents in green and senesced leaves of tree agroforestry species in Southern Ethiopia. *Plant and Soil*, v.267: p.297 - 307, 2004.
- THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, n.25: p.1351 - 1361, 1993.
- TIAN, G.; KANG, B.T; BRUSSARDI, L. Biological effects of plant residues With contrasting chemical under humid tropical conditions decompositions and nutrients release. *Soil Biology and Biochemistry*, v.24, n.10: p.1051 -1060, 1992.
- VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. *Conserv. Biol.*, v.21, n.1: p.274 – 277, 2007.
- WATERMAN, G.P.; MOLE, S. Analysis of phenolic plant metabolites. In: Lawton, J.H.; Likens, G.E. (eds.) **Methods in Ecology**. Oxford: BSP, 1994, 120p.
- WRIGHT, S. T. C. The relationship between leaf water potential (Ψ leaf) and the levels of abscisic acid and ethylene in excised leaves. *Planta*, v.134 n.2: p. 183 - 189, 1977.
- YOUNG, A. **Agroforestry for Soil Management**. ICRAF and CAB International, 2nd ed. Wallingford, UK, 1997.
- ZANGARO, W.; NISIZAK, S. M. A.; DOMINGOS, J.C.B; NAKANO E.M. Mycorrhizal response and sucessional status in 80 woody species from south Brazil. *Journal of tropical Ecology*, v.19: p.315 – 324, 2003.

ANEXO 1

SERAPILHEIRA

1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA AS QUANTIDADES DE MATERIAL SENESCENTE

Análise de variância para as quantidades de material senescente, separados por estação climática e por órgãos da planta presente no material aportado, para espécies arbóreas usadas em SAFs na Zona da Mata de Minas Gerais.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	p
Espécie (E)	6	7.744.796	1.290.799	15,14177	0,000000
órgão (O)	3	1.061.145	353.715	4,14927	0,006602
Estação (e)	3	2.355.773	785.258	9,21149	0,000007
E x O	18	3.309.479	183.860	2,15678	0,004373
E x e	18	7.738.924	429.940	5,04343	0,000000
O x e	9	398.089	44.232	0,51887	0,860796
E x O x e	54	3.991.822	73.923	0,86715	0,733825
Resíduo	336	28.643.192	85.248		

2 – TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS

2.1 – Entre espécies

Significâncias para os testes de comparação de média entre quantidade de material senescente aportado de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais.

Espécies	Ingá	Açoita-cavalo	Abacate	Mulungu	Ipê-preto	Papagaio
Fedegoso	**	***	***	***	***	***
Ingá	-	***	**	***	***	***
Açoita-cavalo	-	-	ns	**	***	***
Abacate	-	-	-	*	**	**
Mulungu	-	-	-	-	ns	ns
Ipê-preto	-	-	-	-	-	ns

* p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

2.2 - Entre estações

Significâncias para os testes de comparação de média entre quantidade de material senescente aportado nas estações por espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata - MG.

Estações	Outono	Inverno	Primavera
Verão	***	***	ns
Outono	-	ns	***

Inverno	-	-	***
---------	---	---	-----

*** p < 0,01% e ns: não significativo.

2.3 - Entre órgãos

Significâncias para os testes de comparação de média entre quantidade de material senescente aportado separados por órgãos da planta de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata - MG.

Órgãos	Galhos finos	Galhos grossos	Flor e fruto
Folhas	***	*	*
Galhos finos	-	*	*
Galhos grossos	-	-	ns

* p < 0,10%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

3. SIGNIFICÂNCIA PARA AS ANOVAS (INTERAÇÕES)

3.1 – Significâncias das ANOVAS realizadas para a interação espécie x estação

	Abacate	Açoita-cavalo	Mulungu	Fedegoso	Ingá	Ipê-preto	Papagaio
Estação	ns	***	ns	*	ns	***	ns
Órgão	*	**	***	*	***	**	***
Estação x órgão	ns	ns	#	ns	#	#	ns

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

3.2 – Significâncias das ANOVAS realizadas para a interação órgão x estação

	Abacate	Açoita-cavalo	Mulungu	Fedegoso	Ingá	Ipê-preto	Papagaio
Material total	***	***	**	**	***	*	*
Folhas	***	***	**	***	***	**	*
Galhos finos	**	ns	ns	ns	#	ns	ns
Galhos grossos	-	-	-	ns	-	ns	-
Flores + frutos	ns	***	-	***	*	ns	ns

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

ANEXO 2

CONTEÚDO DE NUTRIENTES

1 – ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA OS CONTEÚDOS DE NUTRIENTES

1.1 – NITROGÊNIO (N)

ANOVA para as quantidades de N

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Espécie	6	3141,587	523,598	10,58424***
Órgão	3	1944,335	648,112	26,35307***
Estação	3	234,880	78,293	1,58826 ns
Espécie x órgão	18	3553,813	197,434	7,97136***
Espécie x estação	18	890,452	49,470	1,99732**
órgão x estação	9	221,341	24,593	0,99295 ns
Espécie x órgão x estação	54	1337,467	24,768	1,09419 ns
Resíduo	336	7605,632	22,636	

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

1.2 – FÓSFORO (P)

ANOVA para as quantidades de P.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Espécie	6	8,52168	1,420279	7,97712***
Órgão	3	4,79049	1,596831	10,58731***
Estação	3	0,67853	0,226176	1,21614 ns
Espécie x órgão	18	11,86831	0,659351	4,61439***
Espécie x estação	18	3,20479	0,178044	1,24602 ns
órgão x estação	9	1,35743	0,150825	1,05553 ns
Espécie x órgão x estação	54	7,71606	0,142890	1,41284**
Resíduo	336	33,98192	0,101137	

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

1.3 - POTÁSSIO (K)

ANOVA para as quantidades de K.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Espécie	6	256,705	42,7842	10,13355***
Órgão	3	221,497	73,8322	10,92110***
Estação	3	24,384	8,1281	1,44915 ns
Espécie x órgão	18	412,897	22,9387	4,26874 ***
Espécie x estação	18	75,997	4,2220	0,78569 ns
órgão x estação	9	60,845	6,7605	1,25808 ns
Espécie x órgão x estação	54	290,177	5,3737	1,37531**
Resíduo	336	1312,828	3,9072	

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

1.4 - CÁLCIO (Ca)

ANOVA para as quantidades de Ca.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Espécie	6	770,473	128,4122	9,38031***
Órgão	3	749,010	249,6700	19,35848***
Estação	3	64,744	21,5814	1,06642 ns
Espécie x órgão	18	484,980	26,9433	4,24340***
Espécie x estação	18	246,412	13,6895	2,15601**
órgão x estação	9	116,075	12,8972	2,03123*
Espécie x órgão x estação	54	342,871	6,3495	0,83267 ns
Resíduo	336	2562,130	7,6254	

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

1.5 - MAGNÉSIO (Mg)

ANOVA para as quantidades de Mg.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Espécie	6	7,88879	1,31480	6,38749***
Órgão	3	15,00044	5,00015	23,37683***
Estação	3	1,03799	0,34600	1,45226 ns
Espécie x órgão	18	6,63898	0,36883	2,03230**
Espécie x estação	18	3,70511	0,20584	1,13419 ns
órgão x estação	9	1,92504	0,21389	1,17857 ns
Espécie x órgão x estação	54	9,80021	0,18149	1,44393**
Resíduo	336	42,23143	0,12569	

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

1.6 - COBRE (Cu)

ANOVA para as quantidades de Cu.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Espécie	6	889,529	148,2548	2,64830*
Órgão	3	458,108	152,7026	6,08043**
Estação	3	221,977	73,9922	1,22067 ns
Espécie x órgão	18	841,999	46,7777	2,28417 **
Espécie x estação	18	1007,660	55,9811	2,73358***
órgão x estação	9	226,024	25,1138	1,22632 ns
Espécie x órgão x estação	54	1105,868	20,4790	1,13992 ns
Resíduo	336	6036,367	17,9654	

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

1.7 – ZINCO (Zn)

ANOVA para as quantidades de Zn.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F
Espécie	6	2387,35	397,892	5,26826***
Órgão	3	1034,33	344,777	8,43475***
Estação	3	252,90	84,300	1,03049 ns
Espécie x órgão	18	1994,08	110,782	3,20216***
Espécie x estação	18	1359,47	75,526	2,18308**
órgão x estação	9	367,88	40,876	1,18151 ns
Espécie x órgão x estação	54	1868,19	34,596	0,96287 ns
Resíduo	336	12072,56	35,930	

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

2 - TESTE DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS

2.1 – ENTRE ESPÉCIES

Significâncias para os testes de comparação de média entre conteúdos de nutrientes aportados no material senescente de espécies arbóreas utilizadas em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais.

Espécies	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu
Fedegoso x ingá	**	***	ns	***	ns	**	***
Fedegoso x açoita-cavalo	***	***	***	***	ns	ns	***
Fedegoso x abacate	***	***	***	***	**	***	***
Fedegoso x mulungu	***	***	***	***	***	***	***
Fedegoso x ipê-preto	***	***	***	***	***	***	***
Fedegoso x papagaio	***	***	***	***	***	***	***
Ingá x açoita-cavalo	***	*	*	ns	ns	#	ns
Ingá x abacate	***	*	***	***	ns	*	*
Ingá x mulungu	***	***	***	***	***	***	***
Ingá x ipê-preto	***	***	***	***	***	***	***
Ingá x papagaio	***	***	***	***	***	***	***
Açoita-cavalo x abacate	ns	ns	#	*	ns	***	ns
Açoita-cavalo x mulungu	*	#	**	***	***	***	*
Açoita-cavalo x ipê-preto	***	#	**	***	***	***	**
Açoita-cavalo x papagaio	***	*	***	***	***	***	**
Abacate x mulungu	ns	ns	ns	ns	***	#	ns
Abacate x ipê-preto	#	#	ns	**	***	#	ns
Abacate x papagaio	#	#	*	**	***	*	ns
Mulungu x ipê-preto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mulungu x papagaio	ns	ns	ns	ns	#	ns	ns
Ipê-preto x papagaio	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

2.2 – ENTRE ESTAÇÕES

Significâncias para os testes de comparação de média entre conteúdos de nutrientes aportados no material senescente nas estações do ano para cada espécie arbórea utilizada em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais.

Estações	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
Todas as espécies							
Primavera x verão	#	*	ns	ns	ns	**	ns
Primavera x outono	#	ns	ns	**	ns	ns	**
Primavera x inverno	#	#	**	ns	**	ns	ns
Verão x outono	***	**	ns	**	ns	***	*
Verão x inverno	ns	ns	*	ns	*	***	ns
Outono x inverno	***	**	#	**	***	ns	**
Abacate							
Primavera x verão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Primavera x outono	ns	ns	ns	#	*	ns	ns
Primavera x inverno	#	*	**	ns	*	ns	*
Verão x outono	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x inverno	#	**	**	ns	**	ns	**
Outono x inverno	**	**	**	#	***	ns	**
Açoita-cavalo							
Primavera x verão	ns	ns	ns	**	**	ns	***
Primavera x outono	ns	ns	ns	**	*	#	***
Primavera x inverno	ns	ns	ns	*	**	*	***
Verão x outono	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Outono x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Mulungu							
Primavera x verão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Primavera x outono	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
Primavera x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x outono	ns	ns	ns	ns	#	ns	ns
Verão x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Outono x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Fedegoso							
Primavera x verão	***	***	***	***	**	***	**
Primavera x outono	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns
Primavera x inverno	*	**	***	ns	**	ns	#
Verão x outono	***	***	ns	***	*	***	***
Verão x inverno	***	**	ns	***	ns	**	ns
Outono x inverno	**	**	ns	*	#	**	**
Ingá							
Primavera x verão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Primavera x outono	**	ns	ns	#	ns	*	ns
Primavera x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x outono	**	#	ns	*	#	***	ns
Verão x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
Outono x inverno	***	ns	ns	**	**	ns	#
Ipê-preto							
Primavera x verão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Primavera x outono	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Primavera x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x outono	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Outono x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Papagaio							
Primavera x verão	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Primavera x outono	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Primavera x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x outono	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Verão x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Outono x inverno	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

2. 3 – ENTRE ÓRGÃOS DA PLANTA

Significâncias para os testes de comparação de média entre conteúdos de nutrientes aportados por meio dos diferentes órgãos da planta presentes no material senescente de cada espécie arbórea utilizada em sistemas agroflorestais na Zona da Mata de Minas Gerais.

Órgãos	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
Todas as espécies							
Folha x galho fino	***	***	***	***	***	***	***
Folha x galho grosso	***	***	***	***	***	***	***
Folha x flor e fruto	***	*	ns	***	***	#	#
Galho fino x galho grosso	ns	ns	ns	#	ns	ns	*
Galho fino x flor e fruto	***	***	***	ns	**	**	*
Galho grosso x flor e fruto	***	***	***	#	***	***	***
Abacate							
Folha x galho fino	#	ns	ns	***	***	ns	ns
Folha x galho grosso	-	-	-	-	-	-	-
Folha x flor e fruto	ns	*	#	***	***	ns	ns
Galho fino x galho grosso	-	-	-	-	-	-	-
Galho fino x flor e fruto	*	**	**	ns	*	ns	**
Galho grosso x flor e fruto	-	-	-	-	-	-	-
Açoita-cavalo							
Folha x galho fino	**	#	ns	***	***	ns	ns
Folha x galho grosso	***	*	#	***	***	#	*
Folha x flor e fruto	#	ns	ns	***	***	ns	ns
Galho fino x galho grosso	ns	ns	ns	ns	ns	ns	***
Galho fino x flor e fruto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*
Galho grosso x flor e fruto	ns	#	#	ns	ns	ns	ns
Mulungu							
Folha x galho fino	ns	ns	*	*	***	ns	ns
Folha x galho grosso	-	-	-	-	-	-	-
Folha x flor e fruto	-	-	-	-	-	-	-
Galho fino x galho grosso	-	-	-	-	-	-	-
Galho fino x flor e fruto	-	-	-	-	-	-	-
Galho grosso x flor e fruto	-	-	-	-	-	-	-
Fedegoso							
Folha x galho fino	***	**	**	***	***	**	***
Folha x galho grosso	***	***	***	***	***	***	***
Folha x flor e fruto	***	***	***	***	ns	***	**
Galho fino x galho grosso	ns	ns	ns	#	ns	ns	ns
Galho fino x flor e fruto	***	***	***	ns	***	***	***
Galho grosso x flor e fruto	***	***	***	*	***	***	***
Ingá							
Folha x galho fino	***	***	***	***	***	***	***
Folha x galho grosso	-	-	-	-	-	-	-
Folha x flor e fruto	***	***	***	***	***	***	***
Galho fino x galho grosso	-	-	-	-	-	-	-
Galho fino x flor e fruto	#	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Galho grosso x flor e fruto	-	-	-	-	-	-	-
Ipê-preto							
Folha x galho fino	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Folha x galho grosso	ns	ns	ns	ns	#	ns	ns
Folha x flor e fruto	ns	ns	ns	ns	#	ns	ns
Galho fino x galho grosso	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Galho fino x flor e fruto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Galho grosso x flor e fruto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Papagaio							
Folha x galho fino	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Folha x galho grosso	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Folha x flor e fruto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Galho fino x galho grosso	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Galho fino x flor e fruto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Galho grosso x flor e fruto	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

p < 0,20%; * p < 0,10%; ** p < 0,05%; *** p < 0,01% e ns: não significativo.

ANEXO 3

1- RESPIROMETRIA

Análise de variância da respirometria.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Espécie (E)	6	565.043	94.173,8	170.3256	0,000000
Tempo (T)	14	3.119.286	222.806,2	402,9741	0,000000
Interação (E) x (T)	84	111.180	1.323,6	2,3939	0,000000
Resíduo	315	174.165	552,9		

Análise de variância da evolução de C-CO2 acumulado em 888 horas.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	F	P
Espécie	7	2.688.908	384.129,7	359,0451	0,0000
Resíduo	21	22.467	1069,9		

ANEXO 4

DECOMPOSIÇÃO DE CAMPO

Análise de variância da decomposição de campo pelo método do "litter bag"

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma de quadrado	Quadrado médio	F	p
Especie (E)	2	1,887714	0,943857	56,93594	0,000000
Tempo (T)	6	6,466781	1,077797	65,01555	0,000000
Interação (E) x (T)	12	0,680721	0,056727	3,42191	0,000680
Resíduo	63	1,044384	0,016578		