

MARGIT HAUER

**AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES LENHOSAS PARA UTILIZAÇÃO
EM BARREIRAS VIVAS (*ALLEY CROPPING*)
EM MORRETES - PR**

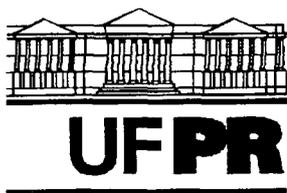
Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Agronomia. Curso de Pós-Graduação em Agronomia - área de Concentração Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora:

Prof.^ª Dr.^ª Celina Wisniewski - UFPR

CURITIBA

2000



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO) e
MONITORAMENTO, MODELAGEM E GESTÃO AMBIENTAL(DOUTORADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone: 041-350-5648-Fax:041-252-3689
E-mail: pgcisol@agrarias.ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **MARGIT HAUER**, com o título: "**Avaliação de espécies lenhosas para utilização em barreiras vivas (alley cropping) em Morretes-PR**" para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo" do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, são de Parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação com conceito "**A**" completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", em Curitiba 15 de março de 2000.

Profa. Dra. Celina Wisniewski, Presidente.

Engenheiro Florestal Dr. Amilton Baggio, 1º Examinador.

Prof. Dr. Renato Marques, 2º Examinador.



Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor, mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser. Mas, graças a Deus, não somos o que éramos.

Martin Luther King

Aos pequenos grandes filhos Iago e Douglas.

AGRADECIMENTOS

Ao agradecer a colaboração em um trabalho, deparei-me com uma das primeiras e mais importantes conclusões: assim como o ser humano é um ser social, seu trabalho é fruto de um esforço conjunto e, nunca, de uma só pessoa.

Ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia e ao Departamento de Solos da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Instituto Ambiental do Paraná, instituição na qual trabalho, pelo apoio à participação no Curso de Pós-Graduação e à realização deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À professora Celina Wisniewski pela primordial confiança, orientação e incentivo.

Ao Moacir Medrado e Marcos Rachwal (co-orientadores) e ao Gustavo R. Curcio, da EMBRAPA, pela orientação em todos os momentos do trabalho.

Ao Edílson, da EMBRAPA, pela fundamental orientação na análise estatística.

Ao Carpanezi, da EMBRAPA, pelas recomendações e pelo valoroso empréstimo das sacolas de decomposição.

Ao Baggio, Montoya e demais pesquisadores da EMBRAPA, pelos incentivos e recomendações.

Aos professores Silvia Maria de Araújo (do Setor de Ciências Humanas) Cleverson e Valdo (Setor de Ciências Agrárias), pela confiança e indicação para a participação no Curso de Pós-Graduação.

Aos professores Hélio e Celso, pelo incentivo, enquanto coordenadores do Curso.

Aos professores Beatriz, Bruno, Marco Aurélio, Jair, Renato pelos incentivos e pela confiança.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação.

Ao Valdecir Chiarelli (Lobo) pela imprescindível execução dos trabalhos de campo.

À Eliane Ceccon, que apesar de tão longe, esteve sempre presente, desde que conheci, discutindo, recomendando e amparando em todos os momentos.

Ao Gerson, Aldair, Ruy, Valdina, Elda, Maria, Ana e a todos funcionários do Departamento de Solos.

A Evelyn, Helena, Vera e demais funcionários da Biblioteca do Setor de Ciências Agrárias.

Aos técnicos do Laboratório de Nutrição Vegetal, em especial ao Coelho e ao Dias, e aos funcionários da Biblioteca da Embrapa.

Ao IAPAR pelas análises de lignina e dados meteorológicos.

Aos amigos que encontrei no decorrer deste curso e com os quais discutimos idéias, sonhos e reflexões, Betânia, Britez, Carla, Carol, Cice, Cristina, Ionete, Iolanda, Jorge, Luiz Tessaro, Maria Alice, Maria Regina, Pedro Dias, Roseli, Sandra, Silma, Sulaire, Wagner, Yanê.

Aos meus pais e a minha irmã Karin, pelo fundamental apoio em todas horas.

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS..... | VIII |
| LISTA DE TABELAS..... | X |
| RESUMO..... | XII |
| ABSTRACT..... | XIII |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DA LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 A AGRICULTURA TRADICIONAL E SUA RELAÇÃO COM A FLORESTA TROPICAL: tecnologia e limitações dos solos agrícolas..... | 4 |
| 2.2 DA CONSERVAÇÃO AO USO SUSTENTÁVEL DO SOLO..... | 6 |
| 2.3 OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO UMA OPÇÃO SUSTENTÁVEL..... | 7 |
| 2.4 A CICLAGEM NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS..... | 10 |
| 2.5 AS RELAÇÕES DE COMPETIÇÃO E COMPLEMENTARIDADE..... | 12 |
| 2.6 OS DIVERSOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS..... | 13 |
| 2.7 O CULTIVO EM ALÉIAS (<i>ALLEY CROPPING</i>)..... | 13 |
| 2.8 AS ESPÉCIES ARBÓREO-ARBUSTIVAS E SEU POTENCIAL PARA O CULTIVO EM ALÉIAS..... | 16 |
| 2.9 A DECOMPOSIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL..... | 22 |
| 2.9.1 Os organismos decomponentes..... | 23 |
| 2.9.2 Os substratos vegetais..... | 24 |
| 2.9.3. A avaliação da velocidade da decomposição..... | 27 |
| 2.9.4 O nitrogênio, a lignina e a degradação da matéria seca..... | 29 |
| 2.9.5 A liberação do fósforo através da decomposição de materiais vegetais..... | 33 |
| 2.9.6 A liberação do potássio, cálcio e magnésio através da decomposição de materiais vegetais..... | 34 |
| 2.9.7 A liberação dos micronutrientes através da decomposição de materiais vegetais..... | 34 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 36 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO..... | 36 |
| 3.2 ANÁLISE DO SOLO PARA A CARACTERIZAÇÃO INICIAL..... | 37 |
| 3.2.1 Coleta e preparo do solo..... | 37 |
| 3.2.2 Análises química e física do solo..... | 37 |
| 3.4 ESPÉCIES UTILIZADAS..... | 38 |
| 3.4.1 <i>Senna multijuga</i> (L. C. Rich.) Irwin & Barneby..... | 38 |
| 3.4.2 <i>Senna macranthera</i> (Collad.) Irwin et Barn..... | 40 |
| 3.4.3 <i>Inga sessilis</i> (Vellozo) Martius..... | 40 |
| 3.4.4 <i>Flemingia congesta</i> (Roxb. Ex Ait. f.)..... | 42 |
| 3.4.5 <i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) De Wit cv. Cunningham..... | 42 |
| 3.5 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS..... | 43 |
| 3.6 VARIÁVEIS AVALIADAS QUANTO AO COMPONENTE FLORESTAL..... | 44 |
| 3.6.1 Sobrevivência..... | 44 |
| 3.6.2 Altura..... | 44 |
| 3.6.3 Biomassa..... | 44 |

| | |
|---|-----|
| 3.6.4 Velocidade de decomposição da biomassa..... | 46 |
| 3.6.5 Análises dos tecidos vegetais (C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn)..... | 52 |
| 3.7 LIGNINA..... | 52 |
| 3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 53 |
| 3.8.1 Biomassa..... | 53 |
| 3.8.2 Decomposição da biomassa..... | 53 |
| 4 RESULTADOS..... | 54 |
| 4.1 ANÁLISES QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO..... | 54 |
| 4.2 SOBREVIVÊNCIA E ALTURA..... | 56 |
| 4.3 BIOMASSA..... | 57 |
| 4.3.1 Biomassa total..... | 58 |
| 4.3.2 Biomassa foliar..... | 58 |
| 4.3.3 Biomassa dos ramos finos (< 1,0 cm)..... | 58 |
| 4.3.4 Biomassa seca dos ramos grossos (≥ 1,0 cm)..... | 58 |
| 4.4 DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA..... | 63 |
| 4.4.1 Perda de matéria seca..... | 63 |
| 4.4.1.1 Tecidos foliares..... | 63 |
| 4.4.1.2 Ramos finos (< 1,0 cm)..... | 63 |
| 4.4.1.3 Ramos grossos (> 1,0 cm)..... | 64 |
| 4.4.2 Teores iniciais de carbono e nutrientes e sua variação ao longo da decomposição..... | 65 |
| 4.4.2.1 Carbono..... | 65 |
| 4.4.2.2 Nitrogênio..... | 67 |
| 4.4.2.3 Fósforo..... | 69 |
| 4.4.2.4 Potássio..... | 71 |
| 4.4.2.5 Cálcio..... | 73 |
| 4.4.2.6 Magnésio..... | 75 |
| 4.4.2.7 Micronutrientes..... | 77 |
| 4.4.3 Liberação de carbono e nutrientes através da decomposição..... | 80 |
| 4.4.3.1 Carbono..... | 80 |
| 4.4.3.2 Nitrogênio..... | 82 |
| 4.4.3.3 Fósforo..... | 84 |
| 4.4.3.4 Potássio..... | 86 |
| 4.4.3.5 Cálcio..... | 88 |
| 4.4.3.6 Magnésio..... | 89 |
| 4.4.3.7 Micronutrientes..... | 91 |
| 5 DISCUSSÃO..... | 96 |
| 5.1 ASPECTOS RELATIVOS AO SOLO..... | 96 |
| 5.2 SOBREVIVÊNCIA..... | 97 |
| 5.3 ALTURA..... | 98 |
| 5.4 BIOMASSA..... | 99 |
| 5.5 ASPECTOS MORFOLÓGICOS DAS ESPÉCIES AVALIADAS..... | 101 |
| 5.6 A DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA..... | 102 |
| 5.7 A QUANTIDADE DE N NA BIOMASSA..... | 108 |
| 5.8 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DO FÓSFORO..... | 109 |

| | |
|--|-----|
| 5.9 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DO POTÁSSIO..... | 112 |
| 5.10 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DE CÁLCIO E DE MAGNÉSIO..... | 113 |
| 5.11 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DE MICRONUTRIENTES..... | 114 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 116 |
| ANEXOS..... | 120 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 128 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----|--|----|
| 1 | ASPECTOS DA ALELUIEIRA EM OUTUBRO/97..... | 39 |
| 2 | ASPECTO DE UMA ALÉIA DE MANDUIRANA APÓS A PODA DAS PLANTAS ÚTEIS..... | 45 |
| 3 | ASPECTOS DA DISPOSIÇÃO NA SUPERFÍCIE DO SOLO DS SACOLAS DE DECOMPOSIÇÃO AOS 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO..... | 47 |
| 4 | ASPECTOS DAS FOLHAS DA ALELUIEIRA E DA MANDUIRANA AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO..... | 48 |
| 5 | ASPECTOS DAS FOLHAS DA FLEMÍNGIA E DO INGÁ AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO..... | 49 |
| 6 | ASPECTOS DOS RAMOS FINOS DA ALELUIEIRA E DA MANDUIRANA AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO..... | 50 |
| 7 | ASPECTOS DOS RAMOS GROSSOS DA MANDUIRANA E DA FLEMÍNGIA AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO..... | 51 |
| 8 | SOBREVIVÊNCIA DE 5 LEGUMINOSAS LENHOSAS AO LONGO DE 29 MESES (%)..... | 56 |
| 9 | ALTURA DE 5 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM DUAS PODAS ANUAIS (cm)..... | 57 |
| 10 | BIOMASSA DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM DUAS PODAS ANUAIS (kg.ha ⁻¹)..... | 59 |
| 11 | PERDA DE MATÉRIA SECA ATRAVÉS DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 60 |
| 12 | PERDA DE MATÉRIA SECA ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 61 |
| 13 | PERDA DE MATÉRIA SECA ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 62 |
| 14 | VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO CARBONO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 63 |
| 15 | VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO NITROGÊNIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 65 |
| 16 | VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO FÓSFORO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 67 |
| 17 | VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO POTÁSSIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 69 |
| 18 | VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO CÁLCIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 71 |
| 19 | VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO MAGNÉSIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 72 |
| 20 | LIBERAÇÃO DE C ATRAVÉS DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 77 |
| 21 | LIBERAÇÃO DE CARBONO ATRAVÉS DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 78 |
| 22 | LIBERAÇÃO DE CARBONO ATRAVÉS DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 79 |
| 23 | LIBERAÇÃO DE N ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS..... | 80 |
| 24 | LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS..... | 80 |

| | | |
|----|--|----|
| 25 | LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS..... | 81 |
| 26 | LIBERAÇÃO DE P ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS..... | 82 |
| 27 | LIBERAÇÃO DE P ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS , EM DUAS ÉPOCAS DO ANO..... | 82 |
| 28 | LIBERAÇÃO DE P ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 83 |
| 29 | LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 83 |
| 30 | LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 84 |
| 31 | LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 84 |
| 32 | LIBERAÇÃO DE CÁLCIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 85 |
| 33 | LIBERAÇÃO DE MAGNÉSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 87 |
| 34 | LIBERAÇÃO DE FERRO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 88 |
| 35 | LIBERAÇÃO DE MANGANÊS ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 89 |
| 36 | LIBERAÇÃO DE COBRE ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 89 |
| 37 | LIBERAÇÃO DE ZINCO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%)..... | 90 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| 1 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO – VALORES MÉDIOS DOS HORIZONTES A E B..... | 55 |
| 2 ANÁLISE TEXTURAL DO SOLO – VALORES MÉDIOS DOS HORIZONTES A E B (%)..... | 55 |
| 3 CONCENTRAÇÃO DE CARBONO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 63 |
| 4 CONCENTRAÇÃO DE CARBONO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 64 |
| 5 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 65 |
| 6 CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 66 |
| 7 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 67 |
| 8 CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 68 |
| 9 CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 69 |
| 10 CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO..... | 70 |
| 11 CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 71 |
| 12 CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO..... | 72 |
| 13 CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg ⁻¹)..... | 73 |
| 14 CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO..... | 73 |
| 15 CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (mg.kg ⁻¹)..... | 74 |
| 16 CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (mg.kg ⁻¹)..... | 75 |
| 17 CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (mg.kg ⁻¹)..... | 76 |
| 18 CÁLCIO REMANESCENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%)..... | 86 |
| 19 CÁLCIO REMANESCENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%)..... | 86 |
| 20 MAGNÉSIO REMANESCENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%)..... | 87 |
| 21 MAGNÉSIO REMANESCENTE NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%)..... | 88 |
| 22 MICRONUTRIENTES REMANESCENTES NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%)..... | 90 |

| | |
|--|----|
| 23 MICRONUTRIENTES REMANESCENTES NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%)..... | 91 |
|--|----|

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar leguminosas lenhosas potenciais para a utilização em sistemas de *alley cropping*, em regiões de encostas de Morretes-PR. Em março/96, em Morretes-PR, em clima Af (Koeppen), foram plantadas mudas de *Senna multijuga* (L. C. Rich.), *S. macranthera* (D. C. ex Colladon) Irwin & Barneby, *Flemingia congesta* (Willd.) Prain ex Merr, *Inga sessilis* Mart. e *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, em um Cambissolo álico, profundo, A moderado, textura média, relevo forte ondulado, baixa saturação de bases. Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, com 5 repetições e espaçamento de 4,0 x 0,5 m. Cada parcela foi constituída por uma espécie, plantada em 3 linhas de 8 plantas, considerando-se como úteis apenas as 6 centrais. Em maio/97 e em dezembro/97, as plantas foram podadas, a 50 cm da superfície do solo. Avaliou-se sobrevivência, altura, produção de biomassa da parte aérea podada (biomassa total, folhas, ramos finos e ramos grossos). Avaliaram-se, ainda, os teores de C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu e Zn. *L. leucocephala* não apresentou altura suficiente para ser podada. Até a segunda poda, *S. multijuga* apresentou maior altura, produção de biomassa, aporte de nutrientes e sobrevivência. *S. macranthera*, *F. congesta*, *I. sessilis* e *L. leucocephala* não demonstraram aptidão para a produção de biomassa, nas condições estudadas. *F. congesta* apresentou os maiores teores foliares de N e de P. Na segunda poda, *I. sessilis* não se diferenciou de *F. congesta*, quanto ao teor de N foliar. Os demais teores de nutrientes revelaram variações na primeira e segunda poda, não se configurando espécies que mantivessem diferenças significativas sobre as demais. O percentual de decomposição da biomassa fracionada e a liberação dos nutrientes foram avaliados através de sacolas de tela de nylon (malha de 2 mm), dispostas sobre a superfície do solo. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições. Em ambos os experimentos, utilizou-se o Teste de Tukey, a 5% de probabilidade. As folhas e ramos finos foram coletados após 55 e 90 dias. Os ramos grossos foram coletados aos 90 e 120 dias. *S. macranthera* revelou ser a espécie de mais rápida decomposição e liberação de N das folhas e ramos finos. O ingá revelou lentas decomposição e liberação de N, a despeito de sua baixa C/N. As relações C/N, C/P e lignina/N e os teores iniciais de N, P e lignina não foram, obrigatoriamente, determinantes da perda de matéria seca. As relações C/P não foram determinantes da liberação de P. Limitações de N, P, K e Ca, nos tecidos em decomposição, estiveram associadas à imobilização destes nutrientes. Os teores iniciais de micronutrientes apresentaram poucas variações entre as espécies. Concluiu-se que a implantação do *alley cropping*, nas condições de solo e espécies estudadas, não é capaz de prover aumentos na fertilidade do solo, em curto prazo, sem que sejam providenciadas outras melhorias no sistema. Pode, porém, reduzir a necessidade de insumos externos, bem como, potencializar seus efeitos e contribuir, gradualmente, para a melhoria do agroecossistema.

ABSTRACT

This work aimed pointing out limitations and potentialities for woody leguminous use, in alley cropping systems, in slopes of Morretes-PR. In March/96, in Morretes-PR, with an Af climate (Koeppen), seedlings of *Senna multijuga* (L. C. Rich.), *S. macranthera* (D. C. ex Colladon) Irwin & Barneby, *Flemingia congesta* (Willd.) Prain ex Merr, *Inga sessilis* Mart. and *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit were planted, in a deep CAMBISSOLO, moderated A, medium texture, steep slope, low base saturation and high Al saturation. Randomized blocks were used with 5 replications, spaced at 4,0 x 0,5 m, each plot consisted of one species, in 3 hedgerows with 8 plants, considering only the 6 central plants. In May/97 and December/97 the plants were pruned, at 0,50 m height. Surviving, height and biomass production of the prunes (fractioned in leaves, thin and thick branches) were evaluated. It was also evaluated C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu and Zn concentrations. *L. leucocephala* didn't present enough height for pruning. Until the second prune, *S. multijuga* presented the highest values for surviving, height, biomass production and nutrients accumulation. Considering the studied conditions *S. macranthera*, *F. congesta*, *I. sessilis* and *L. leucocephala* didn't prove aptitude for biomass production. *F. congesta* presented the N and P highest leaves concentrations. On the second prune, the N concentration of *I. Sessilis* leaves didn't differ from that of *F. congesta*. Other species concentrations revealed variations on the first and second prune, avoiding considerations that could indicate constant significant differences between species. Percentage of fractioned biomass decomposition and nutrients release was evaluated through litterbags (2 mm mesh), laid upon soil surface. Completely randomized design was used, with 5 replications. Averages of trials were submitted to Tukey Test, at 5% probability. Leaves and thin branches were collected on 55th and 90th days. Thick branches were collected on 90th and 120th days. *S. macranthera* showed the fast decomposition and N release from the leaves and thin branches. Besides its low C/N, *I. sessilis* presented low decomposition and N release. C/N, C/P and lignin/N didn't necessarily led the dry matter lost. C/P wasn't determinant of P release. N, P, K and Ca limitations were related with immobilization of these nutrients. Initial micronutrients concentrations show little variability between species. In the conditions of the present study, it can be seen that alley cropping isn't able to improve soil fertility, in short term, without inputs in the system. Nevertheless it may reduce the needs for inputs, as well as, it may increase its effects gradually contributing for the agroecosystem improvement.

I INTRODUÇÃO

Os trópicos úmidos abrangem cerca de 49% da América tropical (BENITES; VALVERDE, 1982). Aproximadamente, 70% desta área estão cobertos por solos ácidos de baixa fertilidade (SANCHEZ; COCHRANE, 1980, *apud* BENITES; VALVERDE, 1982). Estes frágeis ecossistemas estão sujeitos à agricultura itinerante e, atualmente, têm se caracterizado como objetos e temas de estudos. O principal sistema agrícola utilizado pelos agricultores locais tem sido a derrubada de florestas, seguida pela queima dos resíduos e implantação de lavouras até que a fertilidade do solo, intensificada pelas cinzas, seja esgotada. O local é, então, abandonado, permitindo-se a regeneração natural da floresta, período também conhecido como pousio.

No litoral paranaense, ocorrem condições de solo, clima e hidrografia que favorecem processos erosivos, resultando em solos com baixa fertilidade natural. Os pequenos agricultores, ocupantes de áreas de encostas e desprovidos de opções tecnológicas para o aumento e/ou recuperação da fertilidade dos solos, além de pressionarem os ecossistemas, sofrem as conseqüências de sua degradação com a baixa produção agrícola obtida. Ainda como fator complicador desta situação, a legislação ambiental vem se tornando mais restritiva nos últimos anos desconsiderando técnicas tradicionalmente usadas.

Se, por um lado, é salutar restringir o uso da terra em prol do meio ambiente, não se deve esquecer que um dos componentes deste meio ambiente é o homem que nele tem habitado. Logo, a obtenção de técnicas capazes de responder às necessidades sócio-ambientais faz-se indispensável. A degradação dos solos e dos ecossistemas deve ser tratada com a apresentação de soluções compatíveis com a realidade sócio-econômica regional. De acordo com BENITES e VALVERDE (1982), as grandes áreas de terra que devem ser desflorestadas continuamente sob uma agricultura itinerante, as pressões populacionais e a preocupação crescente, em todo o mundo, com a possível supressão das florestas tropicais, podem restringir tais práticas, em curto prazo. Portanto, a pesquisa para desenvolver um manejo estratégico, que possibilite um cultivo contínuo em solos ácidos e de baixa fertilidade, nos trópicos úmidos, é uma prioridade relevante.

O presente trabalho visa contribuir para a solução desta problemática, em que ocorrem, concomitantemente, solos ácidos, de baixa fertilidade e de alta suscetibilidade à erosão, limitações sociais e econômicas, degradação ambiental e restrições legais quanto ao uso do solo. Percebe-se que, até o momento, são poucos os dados científicos capazes de apontar para alternativas viáveis e eficazes para os agricultores da região, marginais ao processo economicamente produtivo. Neste contexto, depreende-se a relevância do estudo de alternativas, que concorram para o desenvolvimento sustentável da região litorânea do Paraná.

A opção pelo estudo de alternativas agroflorestais justifica-se por serem, resumidamente, sistemas de uso do solo nos quais árvores ou arbustos crescem em

associação com culturas agrícolas ou pastagens (YOUNG, 1994), tendo como objetivos principais a redução dos impactos negativos sobre o meio ambiente causados pelos cultivos agrícolas e a melhoria do sistema de produção. São técnicas que exprimem sustentabilidade, pois buscam aumentar os efeitos benéficos das interações entre as espécies lenhosas e culturas ou criações de animais. Através do uso dos ecossistemas naturais, como modelos, e da aplicação de suas características ecológicas aos sistemas agrícolas, espera-se a manutenção da produtividade em longo prazo, sem a degradação do meio. Portanto, justifica-se a importância da implantação destes sistemas quando há pouca disponibilidade de insumos e em solos de baixa fertilidade (FARRELL, 1989).

Dentre as práticas agroflorestais, escolheu-se o *alley cropping* – cultivo em aléias ou cultivo em faixas - por ser um tipo de sistema agroflorestal apto para a pequena propriedade. Nestes sistemas, o plantio das espécies florestais é executado, concomitantemente, em faixas intercaladas com as linhas das culturas agrícolas. As árvores, geralmente, são leguminosas de rápido crescimento e vigor vegetativo, visando à produção de biomassa foliar e à melhoria ou conservação do solo (FERNANDES *et al.*, 1994).

Considerando os possíveis aspectos positivos e negativos do cultivo em aléias, deduz-se que um dos primeiros passos para a adoção destes sistemas é a seleção de espécies adequadas para determinada região e situação.

Procurou-se trabalhar com espécies nativas, baseando-se na hipótese de que há espécies leguminosas nativas do Brasil, particularmente, da Floresta Atlântica, que podem ser utilizadas no sistema cultivo em aléias. Estas podem ser comparadas àquelas exóticas, tradicionalmente utilizadas em outros países, podendo até superá-las, nas condições equivalentes a este experimento.

As duas espécies exóticas – *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit cv. Cunningham e *Flemingia congesta* (Willd.) Prain ex Merr - objetos da observação, foram escolhidas em função de seu reconhecimento como espécies aptas para o *alley cropping*, nas diversas regiões, onde este sistema é praticado, e de sua provável capacidade de adaptação às condições do litoral do Paraná, já que estas espécies foram introduzidas em algumas propriedades rurais da região, mostrando aparente adaptação. Entre as nativas, a *Senna multijuga* foi selecionada em função de sua forte ocorrência natural e o *Inga sessilis*, em função de sua dispersão natural na região e do potencial reconhecido de outras espécies de ingazeiros, em trabalhos de *alley cropping* (LOCATELLI, 1991; DAMIANI, 198?). A *Senna macranthera*, embora não seja nativa da região do Litoral do Paraná, é nativa da Floresta Ombrófila Decidual e tem mostrado ampla dispersão na região.

Portanto, o objetivo geral deste trabalho foi, através da avaliação das cinco espécies leguminosas lenhosas, apontar limitações e potencialidades para sua utilização em sistemas de cultivo na forma de barreiras vivas (cultivo em aléias), colaborando na busca da viabilização de alternativas tecnológicas compatíveis com a realidade sócio-econômica e ambiental das regiões de encostas de Morretes-PR.

Dentre os objetivos específicos constam à sobrevivência das espécies, sua altura, a produção de biomassa da parte aérea podada, a taxa de decomposição desta biomassa e a liberação de macro e micronutrientes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Uma propriedade rural saudável conterá árvores - florestas, onde as árvores são nativas, mas também árvores frutíferas e noqueiras, árvores para sombra e para quebra-ventos. As árvores estarão lá por sua utilidade: para alimentação, para construções, palanques, lenha, sombra e cobertura. Porém, elas também estarão lá pelo conforto e prazer, pelos animais selvagens que elas abrigarão e por sua beleza. As florestas pressagiarão o desejo de viver que mantém a vida selvagem florescendo em seu lugar estabelecido. (BERRY, 1977 *apud* BUDD *et al.*, 1990).

2.1 A AGRICULTURA TRADICIONAL E SUA RELAÇÃO COM A FLORESTA TROPICAL: TECNOLOGIA E LIMITAÇÕES DOS SOLOS AGRÍCOLAS

O desenvolvimento tecnológico para o aumento da eficiência agrícola, deve pressupor que os sistemas agrícolas são ecossistemas nos quais o homem exerce um papel dominante na direção do fluxo de energia. Portanto, a eficiência de um sistema agrícola é determinada, até certo ponto, pelo nível de interferência antrópica ou manejo e seu sucesso em dirigir esta energia. Muitos sistemas tropicais são ineficientes não por causa da limitação dos recursos naturais, mas por limitações no seu manejo (WILSON *et al.*, 1986).

Baixa fertilidade e declínio da fertilidade de um solo são problemas distintos. O diagnóstico do problema de baixas produções deve distinguir entre um solo de baixa fertilidade e um solo que perdeu sua fertilidade, por degradação. Se o solo era originalmente fértil e foi degradado, procuram-se implantar práticas para o retorno às condições naturais. No entanto, se o solo originalmente apresentava baixos teores de nutrientes ou limitações físicas, a tarefa torna-se mais difícil, na medida em que não basta alcançar os níveis originais, mas, sobrepujá-los (YOUNG, 1994).

BANDY e SÁNCHEZ (1982) afirmam que as condições climáticas predominantes, na região tropical, favorecem o desenvolvimento de solos intensamente lixiviados e com poucas reservas capazes de serem intemperizadas. SÁNCHEZ (1981) associa a presença de materiais altamente intemperizados ou texturas arenosas a baixos valores de Capacidade de Troca Catiônica (CTC), ressaltando a importância da matéria orgânica para a CTC destes solos. A forte contribuição da matéria orgânica para a CTC dos solos da América Latina também é destacada por FASSBENDER (1982).

De acordo com TAN (1993), é comum nos solos ácidos, ocorrerem quantias elevadas de íons Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{2+} trocáveis e solúveis. Os íons fosfato ($H_2PO_4^-$) podem estar sujeitos à retenção, sendo adsorvidos às superfícies dos colóides do solo através dos metais, os quais atuam como pontes, fenômeno também chamado de coadsorção. A retenção também pode acontecer quando o fosfato combina-se com os íons destes metais (Al^{3+} , Fe^{3+} e Mn^{2+}), formando precipitados pouco solúveis em água e cuja solubilidade decresce com o passar do tempo. TAN (*op. cit.*) alerta, ainda, à fixação do fosfato (PO_4^{3-}), quando este reage com hidróxidos de Al, Fe e Mn

e com a alofana, tornando-se insolúvel em água e praticamente não disponível para as plantas. O autor argumenta que a quantia de fósforo fixado por estas reações, usualmente, excede as quantias de P retido. O P pode também ser fixado através da substituição dos íons OH^- dos octaedros de Al pelos íons fosfato (*ibid.*).

NAIR (1993) considera que a agricultura mundialmente predominante, ocupando, aproximadamente, 30% dos solos explorados, ou 360 milhões de hectares, é migratória e consiste no meio de subsistência de mais de 250 milhões de pessoas. É o principal sistema agrícola utilizado, na região tropical abrangida por florestas, consistindo da derrubada da cobertura florestal, seguida da queima dos seus resíduos e do cultivo de lavouras até o esgotamento da fertilidade do solo (BENÍTES; VALVERDE, 1982). No Brasil, este sistema é conhecido, popularmente, como “pousio” (HAUER, 1994; SILVA *et al.*, 1998).

Os resultados de BANDY e SÁNCHEZ (1982), após 8 anos de estudos na região amazônica, do Peru, mostraram que as cinzas provenientes da derrubada e queima de uma floresta secundária provocaram um aumento temporário no pH, nos níveis disponíveis de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e alguns micronutrientes e uma redução no alumínio trocável, para níveis inferiores aos tóxicos. No entanto, 8 meses após o desflorestamento, os níveis de N e de K foram reduzidos a ponto de causarem sintomas de deficiência destes 2 elementos, constatando-se, também, deficiências esporádicas de enxofre, cobre e boro.

Os autores citados verificaram uma queda brusca nos níveis de matéria orgânica, durante o primeiro ano, após a retirada da cobertura florestal, com uma taxa de decomposição de 25% ao ano. Após o segundo ano, os teores de matéria orgânica atingiram um novo equilíbrio. Foi observada, ainda, uma reversão no conteúdo de alumínio trocável, atingindo níveis tóxicos, ao que os investigadores atribuíram à liberação de íons H^+ , provocada pela súbita decomposição da matéria orgânica. Deficiências de P e de Mg foram detectadas durante o segundo ano, de cálcio a partir de 30 meses, de zinco, durante o 4º ano e suspeitou-se de deficiências de manganês durante o 8º ano.

YOUNG (1994) observa que os métodos de desflorestamento manuais (incluindo a derrubada manual seguida pela queima dos resíduos) não são tão prejudiciais para as propriedades do solo quanto o desflorestamento com utilização de tratores de esteira. Mesmo com as baixas produções obtidas, BANDY e SÁNCHEZ (1982) e PIMENTEL e HEICHEL (1991) alegam haver eficiência no sistema de pousio, devida ao retorno obtido por unidade de trabalho e baixo nível de entradas no sistema. Diversos autores afirmam que o uso do pousio torna-se impactante com o aumento do período de cultivo e a redução do período de regeneração da floresta, causados, principalmente, pela pressão demográfica (BANDY; SÁNCHEZ, 1982; BENÍTES; VALVERDE, 1982; REDHEAD *et al.*, 1983; YOUNG, 1994).

Por outro lado, WILSON *et al.* (1986) alertam que um sistema agrícola baseado no pousio, no qual as lavouras são cultivadas por 2 anos e a regeneração da vegetação natural ocupa 8 anos, permite um manejo apenas durante os ciclos das culturas agrícolas, ou 20% do período total. Para corrigir esta discrepância, alguma forma de manejo da vegetação natural em regeneração deve ser desenvolvida, a fim de garantir que uma porção maior da energia gerada neste período seja direcionada para a satisfação das necessidades humanas.

Para explicar porque uma floresta secundária cresce tão rapidamente, em um solo em que as culturas agrícolas não o fazem, SÁNCHEZ (1981) aponta que as espécies arbóreas devem aproveitar nutrientes não disponíveis às culturas agrícolas. Ao mesmo tempo, o autor observa que muitas árvores rebrotam, aproveitando os sistemas radiculares existentes. A regeneração da floresta pode estar relacionada também, ao comportamento das plantas invasoras, já que SÁNCHEZ (1981) afirma que o sistema tradicional de agricultura nômade está adaptado ao controle destas plantas, cuja agressividade torna-se crescente, com a continuidade dos cultivos. Sucessivamente, plantam-se culturas de maior altura, permitindo a rebrota das espécies lenhosas, tolerantes à sombra, as quais constituem o início da vegetação secundária. No entanto, já se percebeu que se o período de cultivo se estende por muito tempo, as espécies florestais não ressurgem, podendo destruir o sistema tradicional (SÁNCHEZ, 1981). O sistema de pousio foi a primeira técnica para restabelecimento da fertilidade dos solos e, também, a primeira prática agroflorestal (YOUNG, 1994).

2.2 DA CONSERVAÇÃO AO USO SUSTENTÁVEL DO SOLO

De acordo com YOUNG (1994), a degradação do solo pode incluir a erosão e vários tipos de degradação física, química e biológica, às vezes, agrupadas como declínio na fertilidade do solo. Portanto, pode-se afirmar que o objetivo principal da conservação do solo é a manutenção de sua fertilidade, a qual requer o controle da erosão, a manutenção da matéria orgânica, a manutenção das propriedades físicas, a manutenção dos nutrientes e o impedimento de contaminação com substâncias tóxicas (YOUNG, 1994).

VANDERMEER *et al.* (1998) afirma que os sistemas de uso do solo servem a diferentes funções, a diferentes grupos de agricultores. Segundo o autor, as produções agrícolas e silvícolas, a conservação do solo, da água e da biodiversidade e a mitigação das emissões gasosas que provocam o efeito estufa podem ser integradas.

Os sistemas de monocultura não atendem às necessidades da agricultura familiar, nem otimizam o uso da terra, da mão-de-obra e dos recursos financeiros disponíveis. Sistemas de lavouras múltiplas suprem mais as necessidades familiares e garantem segurança contra condições desfavoráveis. As árvores, geralmente, estão inclusas nos sistemas agrícolas complexos, mas apresentam um potencial para um papel ainda maior no aumento da produtividade e na conservação do meio ambiente

(RACHIE, 1983). Os sistemas complexos (com múltiplas espécies) ainda representam a forma majoritária de uso da terra nos trópicos. A complexidade busca integrar os diversos componentes em busca de objetivos múltiplos (VANDERMEER *et al.*, 1998).

YOUNG (1994) afirma que atualmente procuram-se formas de uso da terra as quais não apenas permitam a manutenção dos presentes níveis de produção, mas garantam uma produção em níveis mais elevados que os atuais. Este seria um reflexo da escassez de alimentos nos países emergentes, e do inevitável crescimento populacional. Por outro lado, STEWART *et al.* (1991) alegam que uma das razões pela atual procura por sistemas de produção sustentáveis é a questionabilidade acerca da manutenção de elevados níveis de produção, extremamente dependentes de recursos externos não renováveis e/ou poluentes. O autor acrescenta que a escassez de alimentos não é um problema de produção alimentar, concluindo que a fome, que assola grande parte da população, relaciona-se mais com entraves na distribuição dos alimentos.

2.3 OS SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO UMA OPÇÃO SUSTENTÁVEL

Reitera-se que a agrofloresta refere-se a sistemas de uso do solo nos quais árvores ou arbustos crescem em associação com culturas agrícolas, pastagens ou criação animal, acrescentando-se a ocorrência tanto de interações ecológicas, quanto econômicas entre as árvores e os outros componentes. Todas as espécies lenhosas perenes, incluindo palmeiras e bambus, podem formar o componente arbóreo. A associação entre os componentes lenhosos e não lenhosos pode ser na forma de um arranjo espacial, uma seqüência temporal (rotação) ou uma combinação deles (YOUNG, 1994).

Para VAN LIER (1990), a agrofloresta como um sistema, busca superar problemas sociais e ambientais, enfatizando a necessidade de um planejamento cuidadoso, posto que as técnicas florestais requerem um tempo relativamente longo para sua implantação completa.

De acordo com WIERSUM (1990), a identificação original da agrofloresta, como forma de uso da terra merecedora de interesse profissional, baseou-se no reconhecimento de seu potencial para contribuir ao uso sustentável de solos frágeis e degradados. O autor estabelece que por um lado, o nível de exploração dos recursos edáficos deve permanecer por um longo prazo em equilíbrio com sua capacidade de produção. E por outro, o uso do solo deve ser adaptável a transformações dinâmicas, sob influência de tendências sociais e econômicas. Estas transformações podem estar relacionadas à densidade populacional e conseqüentes aumentos na demanda por produtos alimentícios, ao desenvolvimento de mercados e do poder aquisitivo urbano, a progressos tecnológicos, a mudanças nas condições institucionais, incluindo políticas governamentais e condições de posse da terra e a mudanças nas aspirações humanas (*ibid.*). Dadas estas condições, STEWART *et al.* (1991) consideram preponderante o caráter dinâmico da sustentabilidade.

Conforme denotam BUDD *et al.* (1990), há duas tendências que oferecem perspectivas diferentes no planejamento das atividades agroflorestais. Na primeira, o argumento, usualmente, refere-se a uma abordagem tecnocrática para o planejamento. No modelo tecnocrático, é de responsabilidade dos analistas exporem à sociedade o que é “certo” e como deve ser feito. A segunda corrente assume a incorporação das idéias do público no processo de mudança. Neste caso, o desafio não necessariamente concerne-se à providência de alternativas, mas no estabelecimento de uma rede que permita a expressão e a integração das necessidades individuais para a tomada de decisões. Conforme apontam DUCHHART *et al.* (1990), a participação do público e a identificação do conhecimento local são considerados, cada vez mais, como pré-requisitos para o sucesso no planejamento e na implantação dos projetos desenvolvidos.

Entre os primeiros autores que publicaram trabalhos sobre as possibilidades de integração da silvicultura nos sistemas agrícolas, cita-se LEAKEY (1949, *apud* YOUNG, 1994) que recomendou a utilização de fileiras de espécies arbóreas ao longo de curvas de nível (cordões de contorno) para o controle da erosão. Em 1950 DIJKMAN (*apud* YOUNG, 1994) considerou a leucena (*Leucaena sp.*) uma espécie promissora no controle da erosão.

A Primeira e Segunda Sessões do Comitê de Desenvolvimento Florestal nos Trópicos da FAO, em 1967 e em 1969, discutiram os problemas da agricultura nômade. Os delegados dos países tropicais em desenvolvimento foram unânimes em reconhecer que uma solução poderia ser a introdução de sistemas agroflorestais, pois envolveria um padrão de uso múltiplo da terra, combinando a produção de madeira com a alimentícia. Isto resultou na incorporação de práticas agroflorestais nos projetos florestais da FAO. Uma política reafirmada na Quarta Sessão do Comitê Florestal, em 1978 (VAN NAO, 1983).

WILSON *et al.* (1986), alegam que o enfoque crescente para o papel das árvores na ecologia tropical, foi dado a partir da década de 70. Tal fato foi enfatizado pelas estiagens que assolaram a região do Sahel, na África, onde pereciam seus habitantes e seus rebanhos. Paradoxalmente, em seu esforço por mais terras para lavouras e pastagens, os homens destruíram as árvores que eram essenciais para sua sobrevivência. Surge, então, a agrofloresta, como forma de conter o processo de degradação ambiental e social (*ibid.*).

De acordo com NAIR (1993), muitos fatores contribuíram para a aceitação da agrofloresta, como um sistema de manejo do solo aplicável tanto para a agricultura, quanto para a silvicultura. Entre eles pode-se destacar a reavaliação das políticas desenvolvimentistas pelo Banco Mundial e das políticas florestais pela FAO, a gravidade da situação alimentar nos países em desenvolvimento, o elevado desmatamento e a degradação ambiental, a crise energética que gerou alta nos preços e escassez de fertilizantes.

NAIR (1993) ressalta que, nas décadas de 1960 e 1970, sob o patrocínio do Grupo Consultivo sobre Pesquisa Agrícola Internacional (CGIAR), foram criados

diversos centros internacionais de pesquisa agrícola, com o objetivo de aumentar a produtividade das principais lavouras e criações de animais nas regiões tropicais. Em princípio, estes centros enfatizaram as tecnologias de alto custo de produção, as quais foram pouco aceitas pelos agricultores de baixa renda. Gerou-se, assim, outra linha de pesquisa, a qual buscava avaliações e aprimoramento dos sistemas tradicionais, principalmente, os sistemas de culturas intercalares e sistemas de produção integrados. NAIR (1993) ressalta a criação do Conselho Internacional para Pesquisa em Agroflorestas (ICRAF), em 1977, com a finalidade de dar suporte, planejar e coordenar, em âmbito mundial, pesquisas combinando sistemas agrícolas e silvícolas de manejo de solo, institucionalizando, pela primeira vez, a antiga prática agroflorestal.

Atualmente, os sistemas agroflorestais são encontrados nas regiões úmidas, em solos com declives suaves e em alguns dos mais férteis solos, bem como nos ambientes mais limitantes à agricultura (YOUNG, 1994).

FARRELL (1984, *apud* FARREL, 1989) avaliou o papel das árvores em sistemas tradicionais de cultivo no México central, analisando as propriedades da superfície do solo a distâncias crescentes de duas espécies arbóreas a *Prunus capuli* e a *Juniperus deppeana*. Os mais altos valores de todas as propriedades medidas foram encontrados sob as copas de *P. capuli* e um gradiente decrescente foi observado com o aumento da distância das árvores. A disponibilidade de fósforo aumentou de 4 a 7 vezes sob as árvores, o carbono total e o potássio aumentaram de 2 a 3 vezes, o nitrogênio, o cálcio e o magnésio aumentaram de 1,5 a 3 vezes e a capacidade de troca catiônica aumentou de uma e meia a duas vezes. O pH do solo também foi maior sob as copas das árvores. Esta disposição espacial foi atribuída, principalmente, à redistribuição dos nutrientes com a queda das folhas e ao acúmulo de matéria orgânica próximo às árvores.

NAIR (1993) e YOUNG (1994) citaram alguns processos que podem propiciar aumentos nas adições de nutrientes aos solos, através do componente arbóreo nas agroflorestas. Entre eles pode-se destacar a manutenção ou aumento da matéria orgânica do solo, através da fixação do carbono pela fotossíntese e a transferência deste elemento via decomposição da fitomassa; a fixação de nitrogênio por algumas leguminosas e, eventualmente, certas não leguminosas; a absorção de nutrientes de camadas mais profundas do solo, liberados pelo intemperismo das rochas; a exsudação de substâncias promotoras do crescimento pela rizosfera.

WIERSUM (1990) relaciona a produtividade das árvores ao fato da atividade fotossintética decorrer ao longo de um maior período de crescimento, comparativamente às lavouras temporárias, ou seja, há maior tempo para o acúmulo de energia e de massa seca. Ocorrem, também, demandas relativamente menores para uma absorção efetiva de nutrientes.

Propriedades físicas do solo também podem ser aprimoradas na presença de árvores, tais como, a estrutura do solo (FARREL, 1989; YOUNG, 1994). Esta melhora como conseqüência do aumento da matéria orgânica, da ação

descompactante das raízes das árvores e da atividade microbiana, contribuindo para a formação de agregados mais estáveis (FARREL, 1989). YOUNG (1994) acrescenta a melhoria da porosidade, da capacidade de retenção de umidade e da permeabilidade, relacionando estes processos à manutenção da matéria orgânica, com a redução de sua taxa de decomposição, induzida pelo sombreamento e o efeito das raízes das árvores. Este autor assinala, ainda, a capacidade de rompimento das camadas mais compactadas do solo, pelas raízes. A temperatura do solo é abrandada pela cobertura dos restos vegetais (FARREL, 1989; YOUNG, 1994) e pelo sombreamento provocado pelas copas das árvores (YOUNG, 1994). As árvores podem, ainda, atuar como quebra-ventos (FARREL, 1989).

Como benefícios químicos, YOUNG (1994) alega a redução da acidez dos solos, através da adição de bases oriundas do componente arbóreo. O mesmo autor lembra, no entanto, que, embora a influência das árvores na acidez do solo tenda a ser favorável, as bases contidas no material aplicado foram extraídas do próprio solo e que é improvável resultar em uma elevação significativa do pH.

YOUNG (1994), observa que, geralmente, os sistemas de uso da terra sem adições artificiais só são sustentáveis com baixos níveis de extração. Portanto, o autor considera um erro admitir a agrofloresta como um modo de manter a fertilidade, somente através de meios biológicos. E afirma que, seu potencial seria maior, se ela fosse conduzida para aumentar a eficiência do uso de fertilizantes, pois embora haja adição de bases oriundas da fitomassa das árvores, os nutrientes contidos no material foram extraídos do próprio solo.

WIERSUM (1990) e RAO e COE (1992) destacam que, mesmo em áreas não degradadas, podem ser necessários vários anos para que um sistema agroflorestral alcance um estágio de estabilidade em sua produção, porque é lento o processo de desenvolvimento das propriedades protecionistas das árvores e da obtenção de seus produtos. Esta é uma limitação para o estabelecimento de novos sistemas agroflorestrais.

2.4 A CICLAGEM NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Conforme explica NAIR (1993), em um sistema solo-planta, os nutrientes vegetais estão em um estado de transferências contínuas e dinâmicas. As plantas absorvem os nutrientes do solo, os quais retornam a este durante o crescimento da planta, através das folhas e raízes mortas e, dependendo do sistema de manejo, podem voltar através de restos culturais ou adições de material vegetal. A serapilheira ou biomassa vegetal é decomposta, pela ação combinada dos organismos decomponentes, de forma a mineralizar os nutrientes que poderão novamente ser absorvidos pelas plantas (BAHUGUNA *et al.*, 1990).

O ciclo de nutrientes pode ser compreendido como estoques e fluxos dentro do sistema e relações com o meio externo de ganhos (entradas) e perdas (saídas). Os estoques são as árvores, as partes aéreas e radiculares das culturas agrícolas,

os resíduos vegetais, a fauna edáfica, a matéria orgânica do solo lábil e a estável, os minerais de argila e estoque de nutrientes disponíveis na forma mineral, na solução do solo (YOUNG, 1994). O autor enfatiza o papel da serapilheira e do húmus interrelacionando os ciclos do nitrogênio, do fósforo, do potássio e outros nutrientes.

De acordo com SCHLESINGER e WARING (1985), NAIR (1993) e YOUNG (1994), no ecossistema solo-planta podem ocorrer ganhos de todos os nutrientes através de fertilizantes, chuva, poeira e material orgânico não originado no sistema. O nitrogênio pode também entrar através da fixação simbiótica e não simbiótica. O intemperismo das rochas pode contribuir para a adição de outros nutrientes. As perdas do ecossistema podem acontecer via lixiviação, erosão e colheitas, além disto, o nitrogênio pode ser perdido através da desnitrificação, da volatilização e da queima (nesta via inclui-se o enxofre).

A liberação de nutrientes inorgânicos, durante a decomposição de serapilheira, influi na manutenção dos ciclos dos nutrientes e no crescimento das plantas. Nas florestas tropicais, a umidade e temperatura altas provocam rápida decomposição de serapilheira e liberação de nutrientes. Ao mesmo tempo, chuvas de alta intensidade provocam a lixiviação dos nutrientes liberados. Nestas condições, a reciclagem dos nutrientes é crítica, por outro lado, as plantas apresentam uma absorção muito eficiente (MASON, 1980).

Para NAIR (1993) e YOUNG (1994), objetivo no planejamento e manejo de sistemas agroflorestais é adaptar a ciclagem de tal modo a fazer um uso mais eficiente dos nutrientes, sejam eles originados de processos de renovação naturais ou de fertilizantes. Especificamente, é desejável reduzir a relação entre ganhos/perdas e a ciclagem interna. Pois, eles afirmam que os sistemas agrícolas são altamente abertos, com as entradas e saídas do sistema sendo consideradas elevadas e a ciclagem interna, baixa. Por sua vez, NAIR (1993) denota que os ecossistemas formados por florestas naturais são mais fechados, considerados sistemas de ciclagem de nutrientes eficientes.

ONG (1994) sugere atenção à "hipótese da sincronia" - a qual supõe que a liberação de nutrientes da cobertura vegetal coincida com a época de demanda das lavouras anuais - e à reabsorção de nutrientes pelo componente florestal.

YOUNG (1994) alerta que a escolha de espécies para os sistemas agroflorestais deve considerar as espécies que são acumuladoras de determinado nutriente. Necessariamente, este elemento foi retirado do solo, mesmo que parcialmente tenha sido extraído de camadas mais profundas e reciclado para a superfície. Se houver retorno total da planta ao solo, através de sua biomassa, haverá um benefício ao solo. Não obstante, caso estas plantas sejam extraídas do sistema, para alimentação animal, por exemplo, poderá haver esgotamento daquele nutriente no solo.

2.5 AS RELAÇÕES DE COMPETIÇÃO E COMPLEMENTARIDADE

Entre os processos biológicos associados ao componente arbóreo da agrofloresta, YOUNG (1994) destaca a produção de material orgânico de qualidade amplamente variada, incluindo uma mistura de material herbáceo, lenhoso e resíduos de raízes. De acordo com a seleção de espécies e do manejo das podas, este material orgânico, ao ser decomposto, poderá liberar nutrientes em uma velocidade compatível com a demanda das culturas agrícolas, de modo sincronizado. Esta liberação de nutrientes, os efeitos na fauna edáfica e a transferência de assimilados, entre os sistemas radiculares, são considerados, por YOUNG (1994), como benefícios das árvores, em um sistema agroflorestal.

Por outro lado, ONG (1994) alerta quanto à competição entre as espécies florestais e as lavouras temporárias, a qual pode ser mais prejudicial que o efeito benéfico obtido com o material orgânico, em decomposição, produzido pelo componente florestal do sistema, especialmente, em solos excessivamente ácidos e com pouca umidade. RAO e COE (1992) complementam que espécies com crescimento muito rápido em altura e diâmetro podem ser as mais competitivas, o mesmo podendo ocorrer com as árvores de copadas mais largas. YOUNG (1994) afirma que o problema é maior quando a folhagem é aproveitada para alimentação animal e o material lenhoso é utilizado para fins energéticos, devido à remoção do material do sistema. Porém, o autor ressalta que muitos experimentos falharam na distinção entre os efeitos causados pela competição por nutrientes, dos efeitos provocados por sombreamento, competição por água e reciclagem de nutrientes.

Para ONG (1994), a seleção de espécies fixadoras de nitrogênio e de rápido crescimento nem sempre se traduz em uma boa opção, pois também depende do emprego de espécies cujos sistemas radiculares sejam complementares. O autor indica que a prática corrente de podas freqüentes é um fator modificador do sistema radicular, podendo ocorrer raízes superficiais em espécies que, em condições normais, apresentariam raízes profundas. VAN NOORDWIJK *et al.* (1996) explicam que a redução foliar reduz a demanda por transpiração, por conseguinte, reduz-se a necessidade de crescimento de novas raízes. Reduz-se, também, o suprimento de carboidratos para o sistema radicular, o qual é necessário para o crescimento das raízes e sua manutenção. Sob regimes de podas severas, a recuperação das árvores depende de novas mobilizações das reservas de energia, armazenadas nas partes dos caules e raízes não afetadas pela poda. O pesquisador sugere que a possível redução do suprimento de carboidratos às raízes, pode causar a morte de algumas raízes finas e de nódulos.

Em contrapartida, a morte das raízes e sua subsequente decomposição, aumentam a mineralização dos nutrientes no solo. Desta forma, as lavouras podem ser beneficiadas com a poda das árvores pela redução do sombreamento, bem como, pela melhoria nutricional, através de recursos oriundos tanto de cima, como de baixo da superfície do solo (VAN NOORDWIJK *et al.*, 1996).

De acordo com VAN NOORDWIJK e BROUWER (1991), quanto menor a altura de poda da *Feltophorum dasyrachis*, maior a quantidade e menor o diâmetro das raízes. O autor considerou a hipótese de que a reduzida altura do caule reduz a chance de sobrevivência e manutenção dos meristemas do eixo central das raízes.

HUCK (1983) lembra que, além dos problemas de competição por espaço e por recursos, como água e nutrientes, deve-se atentar aos exsudatos das raízes, os quais podem ser fitotóxicos para as plantas em uma associação.

2.6 OS DIVERSOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

O sistema agroflorestal encontrado em determinada área é definido, até certo ponto, por fatores agroecológicos. Todavia, diversos fatores sócio-econômicos, tais como, pressão populacional, disponibilidade de mão-de-obra e proximidades de mercados são, também, características importantes. Assim, variações consideráveis podem ser encontradas entre os sistemas existentes em condições agro-climáticas similares ou idênticas, apesar da tendência dos principais sistemas agroflorestais serem similares estruturalmente (NAIR, 1993). O autor conclui que, enquanto os fatores ecológicos determinam o tipo de sistema agroflorestal, a complexidade deste sistema e a intensidade com a qual é manejado aumentam na proporção direta à intensidade populacional e à produtividade dos solos da área.

Com o intuito de compreender, avaliar e desenvolver planos de ações para o seu melhoramento, entre 1982 e 1987 o ICRAF (International Centre for Research in Agroforestry) realizou um inventário global dos sistemas e práticas agroflorestais existentes nos países em desenvolvimento (NAIR, 1993).

Tal sistema divide-se pela natureza dos componentes (agrossilvicultura, silvopastoril, agrossilvopastoril e outros - incluindo aquícultura, apicultura, etc.), pelo arranjo espacial dos componentes (miscelânea densa ou esparsa, faixas, circundante, temporal - coincidente, concomitante, intermitente, interpolado, sustentação, separado), pela função (produtiva, protetiva), pelo ambiente e pelo nível sócio-econômico e de manejo.

2.7 O CULTIVO EM ALÉIAS (ALLEY CROPPING)

O cultivo em aléias é uma técnica agroflorestal promissora para os trópicos úmidos e sub-úmidos, a qual foi desenvolvida durante a década de 70. Consiste no plantio de lavouras entre fileiras de espécies arbóreas ou arbustivas (formando sebes, cercas vivas ou aléias). Preferencialmente, utilizam-se leguminosas para a formação das sebes, as quais são podadas periodicamente, durante o crescimento das culturas agrícolas, para fornecimento de biomassa e para evitar o sombreamento das lavouras (NAIR, 1993). As folhas e ramos, oriundas das árvores podadas, são adicionadas ao solo como adubo verde ou cobertura morta (WILSON *et al.*, 1986).

Estudos pioneiros sobre esta técnica foram iniciados no Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), na Nigéria, por B. T. KANG e sua equipe, no início dos anos 80. O princípio científico desta tecnologia é que, através da introdução de espécies arbóreas e arbustivas de rápido crescimento, preferencialmente fixadoras de nitrogênio, nas áreas de lavouras, obtenha-se condições similares àquelas da fase de capoeira no sistema de pousio. Ou seja, o componente lenhoso induz à melhoria das condições do solo, através da reciclagem de nutrientes, da supressão de plantas invasoras e do controle da erosão em áreas com declividade acentuada (NAIR, 1993).

Entre as práticas agroflorestais, o cultivo em aléias é uma das mais estudadas, com relação às condições do solo. Quando estabelecida em encostas, com o objetivo principal de controle da erosão, pode ser denominada barreiras vivas. Em torno da metade dos diagnósticos sobre agroflorestas tem sugerido este sistema, como uma intervenção para resolver os problemas de uso da terra (YOUNG, 1994).

Entre as vantagens do cultivo em aléias, citadas por MASCHIO *et al.* (1994), pode-se assumir que muitas são coincidentes com os objetivos da implantação deste sistema no litoral paranaense, tais como:

- a) redução das perdas de solo por erosão;
- b) redução do assoreamento das águas;
- c) recuperação de áreas degradadas;
- d) inserção de áreas marginais no processo produtivo;
- e) diversificação da nutrição animal e vegetal (esta pela ciclagem de nutrientes);
- f) adequação do microclima;
- g) aumento da biodiversidade facilitando o controle biológico de parasitas, reduzindo a necessidade de agrotóxicos;
- h) proteção de cultivos e instalações rurais contra adversidades climáticas;
- i) redução de pressões sobre remanescentes florestais;
- j) efeito paisagístico;
- k) melhoria do equilíbrio hídrico;
- l) conservação genética.

O cultivo em aléias pode ter a capacidade de manter a fertilidade do solo, com baixas a moderadas adições de insumos ao sistema, no qual o componente arbóreo ocupa entre 15 a 25% da área. Em contrapartida, os sistemas rotacionais,

normalmente ocupam mais de 50% da área. Assim, sugere-se que o cultivo em aléias seja mais eficiente quanto ao uso da terra e traduz-se em uma alternativa ao pousio, podendo contribuir para uma agricultura sustentável na região tropical (YOUNG, 1994).

Para a avaliação do controle da erosão, nos sistemas agroflorestais, os efeitos relativos do dossel do componente arbóreo, do sub-bosque e da serapilheira foram comparados. Estudou-se por 5 anos, uma plantação de *Acacia auriculiformis*, em clima úmido, em Java. Os 3 elementos foram artificialmente removidos, analisados separadamente e em conjunto. O dossel arbóreo, unicamente, teve relativamente pouco efeito e o efeito da adição do sub-bosque foi pequeno. Apenas a cobertura da serapilheira, no entanto, reduziu a erosão em 95%, comparada ao solo nu (WIERSUM, 1985, *apud* YOUNG, 1994). Portanto, o maior potencial da agrofloresta, para o controle da erosão, está na sua capacidade de suprir e manter uma cobertura do solo (YOUNG, 1994). Assim, a incorporação ao solo da biomassa oriunda das aléias e sua aplicação como cobertura vegetal, trazem benefícios em áreas tropicais, ora visando a liberação de nutrientes, ora o controle da erosão. Logo, técnicas de *alley cropping* capazes de combinar espécies boas para a incorporação com espécies boas para utilização como cobertura morta vêm sendo desenvolvidas (WILSON *et al.*, 1986).

As interações árvore-lavoura são fundamentalmente alteradas em encostas, pelas transformações do solo que ocorrem à medida que terraços naturalmente desenvolvem-se ao longo das barreiras vivas. Os sistemas de barreiras alteram o comprimento de rampa, sua declividade, a profundidade do perfil do solo e características químicas e hidrológicas (GARRITY, 1996).

FARRELL (1989) cita alterações no ambiente de cultivo provocadas pelas copas das árvores sobre a radiação solar, a precipitação e o movimento do ar e, também, pelo efeito desagregador de suas raízes e as possíveis associações com fungos e bactérias que, por sua vez, favorecem o desenvolvimento de agregados. Pode haver um aumento na disponibilidade de elementos, através da exploração das porções mais profundas do solo, recuperando material lixiviado, bem como, aproveitando os minerais liberados pelo intemperismo da rocha matriz e, até mesmo, com o aumento da capacidade de troca catiônica, a partir do aumento do teor de matéria orgânica (geração de cargas negativas).

As principais espécies utilizadas nos trabalhos pioneiros em *alley cropping* foram a leucena (*Leucaena leucocephala*) e a glincídia (*Glicidia sepium*), espécies bem conhecidas como fixadoras de nitrogênio (GUEVARRA *et al.*, 1978).

WILSON *et al.* (1986) relatam que as primeiras pesquisas agrícolas, nas regiões tropicais, dirigiram esforços para a utilização de leguminosas herbáceas - sistemas de adubação verde similares àqueles populares nas regiões temperadas. Uma razão possível ao fracasso da aceitação do método nos trópicos, apesar dos efeitos benéficos mostrados, seria a adversidade dos agricultores à ocupação de lavouras de adubos verdes nas épocas chuvosas, sem retorno direto.

De acordo com WILSON *et al.* (1986) o milho cultivado no sistema *alley cropping* respondeu significativamente à adição de folhas das árvores ao solo, comparativamente aos tratamentos em que as folhas foram removidas. Em um experimento, em Ibadan (Nigéria), ao longo de 5 anos, com leucena em *alley cropping*, argilo-arenoso, de baixa fertilidade, a produção de milho declinou na testemunha em que as folhas de leucena não eram aplicadas ao solo, mas foi mantida, além de significativamente superior à testemunha, onde as folhas foram aplicadas ao solo.

2.8 AS ESPÉCIES ARBÓREO-ARBUSTIVAS E SEU POTENCIAL PARA O CULTIVO EM ALÉIAS

Segundo RACHIE (1983), diferentes situações exigirão características específicas para o componente lenhoso, o que determinará quais dos fatores abaixo mencionados deverão ser considerados:

- ◇ fácil estabelecimento por sementes ou mudas;
- ◇ rápido crescimento e altas produções de folhas e madeira;
- ◇ tamanho limitado (árvores pequenas podem ser ótimas);
- ◇ boa capacidade de rebrota;
- ◇ efetiva capacidade de reciclagem de nutrientes e especialmente de fixação de nitrogênio;
- ◇ usos múltiplos: adubo verde, alimentação, néctar, combustão, construção civil e outros produtos ou aplicações (quebra-vento, sombreamento);
- ◇ ausência de espinhos (a menos que sejam desejáveis);
- ◇ mínima competição com as culturas anuais de enraizamento superficial (podendo ser determinado por raízes profundas);
- ◇ pequenos folíolos prontamente desprendidos quando secos e com rápida decomposição, caso necessite-se de disponibilidade rápida de nutrientes para fertilização;
- ◇ alta proporção de folhas para os ramos secundários;
- ◇ boa tolerância a condições adversas, como estiagens, baixa fertilidade, níveis de pH extremos e outras;
- ◇ livres de pragas e doenças;
- ◇ fácil controle ou eventual eliminação.

Não causa surpresas o grande interesse popular em torno da *Leucaena leucocephala* (leucena), se forem considerados os critérios citados acima (RACHIE, 1983). Porém, o autor complementa que muitas outras espécies são promissoras para os cultivos entre aléias e algumas podem ser superiores, principalmente no que tange à adaptabilidade a condições adversas, como escassez de água, extremos de pH, toxicidade de alumínio e manganês e baixas temperaturas.

KANG et al. (1981), em Ibadan-Nigéria, utilizaram um espaçamento de 4 m entre linhas e 0,25 m entre plantas e encontraram valores de massa fresca para a *Leucaena leucocephala* de 2,9 t.ha⁻¹, após 9 meses de plantio, correspondente a 0,89 t.ha⁻¹ de matéria seca (excluídos os ramos lenhosos) e contendo 27,4 kg N.ha⁻¹. Duas podas adicionais, durante a mesma safra agrícola, resultaram em mais 2 t.ha⁻¹ de massa fresca. Neste experimento, os autores registraram produções anuais entre 5 a mais de 7 t.ha⁻¹ de matéria seca, rendendo entre 180 a 240 kg de N.ha⁻¹.

LOCATELLI et al. (1991) testaram diversas leguminosas arbóreas para cultivo em aléias, em experimento implantado em Porto Velho-RO, a 8° 46' S e 63° 55' W, clima do tipo Am (segundo Köppen), sobre um latossolo amarelo álico, textura argilosa, profundo, bem drenado, com baixa fertilidade natural e boas propriedades físicas, relevo plano, altitude de 98 s.n.m. O espaçamento utilizado foi de 5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Ao 12 meses do plantio, quando da primeira poda, encontraram para o *Inga edulis* e para a *Flemingia congesta* 95,0 e 91,3% de sobrevivência e 2,89 e 2,58 m de altura (sem diferir estatisticamente), respectivamente. Aos 90 dias após a primeira poda, a sobrevivência foi de 90% para o ingá e 95% para a flemíngia. Para a biomassa podada total, os autores registraram 10,5 t.ha⁻¹ para o ingá e 5,2 t.ha⁻¹ para a flemíngia. A produção de folhas correspondeu a 47% do total da biomassa para o ingá e 31% para a flemíngia. A poda foi efetuada a 1,0 m de altura.

LOCATELLI e sua equipe analisaram os tecidos foliares das espécies citadas, os quais equivaleram a 31,7 g.kg⁻¹ de N, 9,6 g.kg⁻¹ de Ca, 1,3 g.kg⁻¹ de Mg, 9,0 g.kg⁻¹ de K e 1,4 g.kg⁻¹ de P para o ingá e 28,6 g.kg⁻¹ de N, 4,9 g.kg⁻¹ de Ca, 0,7 g.kg⁻¹ de Mg, 10,5 g.kg⁻¹ de K e 2,1 g.kg⁻¹ de P para a flemíngia. Diferenças estatísticas apenas foram encontradas para os teores de Ca. Os autores utilizaram o Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

KACHAKA et al. (1993) encontraram teores de N de 32,6 g.kg⁻¹ para a *Flemingia macrophylla*, com relação C/N de 12,3 e de 43,3 g.kg⁻¹ para a *Leucaena leucocephala*, com relação C/N de 9,8.

BUDELMAN (1988a) trabalhou com *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* e *Flemingia macrophylla* na Costa do Marfim (5° 19' N, 4° 13' W), a 29 m s.n.m., clima sub-equatorial. A principal estação chuvosa ocorre de maio a julho, com um pico menor de outubro a novembro. A precipitação anual é de 2131 mm. A análise do solo da área experimental indicou uma CTC de 3,27 mmol.dm⁻³, seu valor V foi de 13,6%, o valor do pH H₂O atingiu 4,7 e a porcentagem de argila e de silte foi de 14,1%. Procedendo podas a 50 cm de altura, a cada 3 meses, após um ano de

estabelecimento das mudas em campo, para a densidade de 5000 plantas.ha⁻¹, o autor encontrou produções foliares médias de 8,9 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para a *G. sepium*, 9,8 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para a *F. macrophylla* e 12,5 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para a *L. leucocephala*. A *L. leucocephala* demonstrou produção significativamente superior às demais, cujas produções foram estatisticamente equivalentes entre si.

DAKORA e KEYA (1997), comparando espécies fixadoras de nitrogênio, mostram valores, obtidos por diversos autores, que variam de 36 a 581 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N fixado simbioticamente, por leguminosas arbustivas ou arbóreas. Como exemplo, na Tanzânia, a *Leucaena sp.* fixou 110 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N, com 830 plantas.ha⁻¹ (HÖGBERG; KVARNSTRÖM, 1982).

DUGUMA *et al.* (1988) trabalharam com leucena (*Leucaena leucocephala*), gliricídia (*Gliricidia sepium*) e sesbânia (*Sesbania grandiflora*) em Ibadan, no sudoeste da Nigéria. A região apresenta 1230 mm de precipitação média anual. O solo da área experimental era da série Egbeda (Óxico paleustalf). As espécies foram plantadas com espaçamento de 2 m entre linhas e 25 cm entre plantas. Os autores testaram a produção de biomassa da leucena decorrente de 5 alturas de poda (25, 75, 100 e 150 cm) e de 4 freqüências (mensal, bimensal, trimestral e semestral). Para a avaliação da produção de biomassa da gliricídia e da sesbânia foram utilizadas 3 alturas de poda e 3 freqüências (mensal, trimestral e semestral). A produção de folhas e pequenos ramos verdes da leucena (denominada biomassa pelos autores) foi maior quanto maior a altura de poda e mais esparsas as freqüências de poda. A produção de biomassa mais baixa foi de 1,61 t.ha⁻¹, obtida com altura de poda a 25 cm do solo. A produção mais alta foi de 13,3 t.ha⁻¹, oriunda da poda a 150 cm do solo com intervalo entre podas semestral. A produção de material lenhoso da leucena foi maior para a altura de poda de 100 cm e no intervalo de podas semestral (*ibid.*). No mesmo trabalho, denota-se que o teor médio de N da biomassa da leucena, considerando as 5 alturas de poda e as freqüências mensais e bimensais, foi de 45,0 g.kg⁻¹. O acúmulo máximo de N da biomassa foi de 757 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, obtida quando as podas foram semestrais e a 150 cm do solo. Os menores acúmulos foram 114 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, para a leucena e 24,7 e 14,7 kg.ha⁻¹, para a gliricídia e sesbânia, respectivamente, a cada 6 meses, obtidos com podas mensais a 25 cm de altura. O acúmulo de N na biomassa da leucena, da gliricídia e da sesbânia apresentou, portanto, a mesma tendência da própria biomassa. O acúmulo de N para a gliricídia e sesbânia foi maior para as podas semestrais, a 100 cm do solo - 205,6 e 110,8 kg.ha⁻¹, respectivamente, em um período de 6 meses (*ibid.*).

Os autores acima citados concluíram que as podas menos freqüentes demonstraram ser mais apropriadas para o *alley cropping*, naquelas condições estudadas, pois além de terem produzido mais biomassa e fornecido mais N ao solo, conseqüentemente, incorporaram maior quantidade de matéria orgânica (o que consiste em uma das metas destes sistemas) e demandaram menos mão-de-obra.

ROSECRANCE *et al.* (1992) trabalharam com *Calliandra calothyrsus*, *Cajanus cajan*, *Cassia siamea*, *Gliricidia sepium*, KX1 - *Leucaena hybrid* (*L. pallida* X *L.*

diversifolia), *L. leucocephala*, *L. pallida*, *L. salvadorensis*, e *Sesbania sesban*, em um solo Vertic Haplustoll, com pH 6,1, na estação experimental da Universidade de Hawaii Waimanalo. Utilizaram espaçamento de 0,5 m entre plantas e 3,0 m entre fileiras. Os autores efetuaram podas, a uma altura de 50 cm, a partir de 9 meses do plantio e, subsequentemente utilizaram intervalos entre podas de 7, 10 e 5 semanas. Os resultados da produção de massa seca total das folhas e ramos verdes (ramos com diâmetros < 8 mm), acumulados nas 4 podas foram de: 12,12 t.ha⁻¹ para a *S. sesban*, 7,31 t.ha⁻¹ para *L. pallida*, 6,38 t.ha⁻¹ para *G. sepium*, 5,09 t.ha⁻¹ para KX 1, 4,27 t.ha⁻¹ para a *C. calothyrsus*, 2,92 t.ha⁻¹ para a K584, 1,55 t.ha⁻¹ para a *C. siamea*, 1,31 t.ha⁻¹ para a *L. salvadorensis* e 4,94 t.ha⁻¹ para a *C. cajan* (para esta, foram possíveis apenas a 1ª e 2ª podas).

MATTHEWS *et al.* (1992) trabalharam com *Leucaena leucocephala* (cv.K8), *Glicídia sepium* e *Flemingia congesta*, em 3 experimentos, na Zâmbia (10° 10' S 31° 12' L). A precipitação média anual é de 1360 mm, concentrada entre os meses de novembro a abril e temperaturas médias mensais entre 18° C e 23° C. Os solos são fortemente lixiviados e de baixa fertilidade natural. O espaçamento foi de 3 m, entre linhas, e 25 cm, entre plantas, para a leucena e flemíngia e 50 cm para a glicícidia. Em um dos experimentos as alturas de poda utilizadas foram de 40 cm e nos demais, 50 cm. As produções anuais médias de matéria seca da *L. leucocephala*, da *F. congesta* e da *G. sepium*, respectivamente, foram de 2,2 t.ha⁻¹, 0,85 t.ha⁻¹ e 0,82 t.ha⁻¹. A contribuição média de N, encontrada pelos autores, foi de 250 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ através da *L. leucocephala*, 36,9 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ através da *F. congesta* e 63,2 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ através da *G. sepium*. Os dados acima foram considerados muito baixos, pelos autores, contrastando com resultados encontrados por outros pesquisadores. Apesar da baixa produção de biomassa, os autores sugeriram que a leucena contribuiu com valores entre 60 e 120 kg N.ha⁻¹ para o componente anual do sistema, representando, naquelas condições, significativa proporção em relação à recomendação regional (112 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ de N).

MATTHEWS *et al.* (1992) sugerem que a melhoria do solo pode ocorrer quando a fertilidade do solo já é elevada, enquanto que se a fertilidade for baixa pode, até, ocorrer o esgotamento dos solos. Questionam, então, os autores sobre a sustentabilidade dos sistemas agroflorestais, na região norte da Zâmbia, sem a adição de fertilizantes industriais.

PALM (1995) salienta que as diferenças nas concentrações de nutrientes dentro de uma espécie podem ocorrer devido a diversos fatores, incluindo sua procedência, fertilidade do solo, o clima, estação do ano, idade das folhas ou da planta, frequência das podas ou até diferenças nos laboratórios ou metodologias usadas para análise nutricional. Por sua vez, BUDELMAN (1989) sugere que o nível nutricional do solo desempenha papel predominante nos teores dos nutrientes das plantas, alertando, todavia, que a magnitude deste efeito, varia de acordo com a espécie.

SAGGIN-JÚNIOR e SIQUEIRA (1998) consideraram a *Senna macranthera* e a *Leucaena leucocephala* como de altamente a extremamente dependentes de micorrizas arbusculares (MAs). POUYÚ e SIQUEIRA (1998) procedendo avaliações após 90 dias de semeadura e de transplante, concluíram que a *S. macranthera* e a *S. multijuga* respondem positivamente à inoculação com MAs, na formação de mudas e no transplante. Estes autores constataram, ainda, que a elevação da fertilidade não provocou aumento da matéria seca da parte aérea da *S. macranthera* e tal aumento foi verificado para a *S. multijuga*, quando inoculada.

De acordo com HEPPEL e SMITH (1976 *apud* SILVEIRA, 1992), o manganês (Mn) pode desempenhar papel fungistático, assim como o alumínio (SIQUEIRA *et al.* 1986). SILVEIRA (1992) afirma que o pH do solo afeta a associação micorrízica, tanto pelos efeitos diretos sobre a permeabilidade das membranas do fungo e da planta, quanto pelos efeitos indiretos na disponibilidade dos nutrientes.

Embora os fungos micorrízicos tenham sido encontrados em solos com pH variando de 2,7 a 9,2, contudo, há diferenças entre as espécies e isolados de fungos quanto à capacidade de germinar e colonizar o hospedeiro em função do pH do solo (MALUF *et al.*, 1988; SIQUEIRA *et al.*, 1986). Portanto, SILVEIRA (1992) justifica a busca por espécies e/ou estirpes que colonizem as espécies que se associam a micorrizas e que sejam mais tolerantes a baixos níveis de pH e altos níveis de alumínio e manganês, caso pretenda-se trabalhar com pouca aplicação de insumos externos.

YAMOAH *et al.* (1986) obtiveram, com a densidade de 5000 plantas.ha⁻¹, uma produção de 4732 kg.ha⁻¹, em 4 podas efetuadas ao longo de um ano, cujo material podado continha o equivalente a 20,8 kg.ha⁻¹ de P. Observa-se, todavia, que houve adição de 60 kg.ha⁻¹ de P, na forma de superfosfato simples, e 60 kg.ha⁻¹ de K, na forma muriática (KCl).

SHARMA *et al.* (1995) encontraram mais fósforo no solo da parcela onde havia sido instalado um sistema agroflorestal, com *Albizia stipulata* e *Citrus reticulata* (frutífera arbórea cultivada no Himalaia), do que na parcela onde o *C. reticulata* não estava consorciado. A contribuição da *A. stipulata* foi apenas via deposição natural.

MAFRA *et al.* (1998) verificaram que, enquanto a análise de solo de uma área com vegetação natural de cerrado revelou 4 mg.kg⁻¹ de P, em uma área adjacente, localizada na mesma posição topográfica e com o mesmo tipo de solo, onde foi efetuado o plantio de *Leucaena leucocephala*, na forma de *alley cropping*, na densidade de 3876 plantas.ha⁻¹, a análise química resultou em 11 mg.kg⁻¹. O plantio da *L. leucocephala* foi efetuado em 1987, as amostras de solo foram coletadas, trimestralmente, de junho de 1995 a maio de 1996. Em setembro de 1995, foi procedida a incorporação ao solo de aveia preta e centeio, seguida do plantio de feijão adzuki e milho. A poda do componente arbóreo do sistema agroflorestal foi conduzida em outubro de 1995, a uma altura de 60 cm do solo e resultou em uma produção de 2398 kg.ha⁻¹ de ramos e folhas podadas. A contribuição da biomassa

podada da leucena atingiu 69% do P total produzido, para o restante, participaram a serapilheira da leucena e os restos culturais.

Já GICHURU e KANG (1989), em experimento na forma de *alley cropping* com a *Calliandra calothyrsus*, verificaram uma redução nos níveis de P, em 17 meses de avaliação, os quais incluíram duas safras de milho. Para a primeira safra, o conteúdo de P contido no material podado da *C. calothyrsus* foi de 8 kg.ha⁻¹ e na segunda, de 11 kg.ha⁻¹.

Embora SCHROTH *et al.* (1995) não tenham constatado aumentos do P disponível no solo, detectaram aumentos nos teores foliares de P do milho resultantes da biomassa podada da *Gliricidia sepium*.

PALM (1995) denota que o fósforo não foi acumulado em quantidades suficientes para atingir as demandas das lavouras por nenhuma espécie. Mesmo se os restos culturais forem reciclados, permanece um balanço negativo. De tal sorte, e considerando a carência de P nos solos tropicais, é óbvia a necessidade de canalizar esforços em pesquisas para o aumento da ciclagem de P e sua disponibilidade nos sistemas de lavouras intercalares (*ibid.*). Outros autores consideram pouco provável uma contribuição significativa de P para as culturas intercalares às aléias (LEHMANN *et al.*, 1995; SÁNCHEZ, 1995; PALM, 1995; SÁNCHEZ; PALM; 1996; RAO *et al.*, 1998). Reitera-se que a adição de material orgânico indiretamente afeta a disponibilidade de P no solo, pela redução de sua capacidade de fixação (SINGH; JONES, 1976).

De acordo com PALM (1995), as demandas por cálcio das lavouras intercalares são atendidas por todas as espécies e o suprimento de magnésio atinge valores próximos às demandas. O potássio não é fornecido em quantidades suficientes por muitas espécies, entretanto, se os resíduos das culturas forem reciclados o balanço nutricional é positivo.

Por outro lado, SCHROTH *et al.* (1995) concluíram que a contribuição de magnésio advinda da biomassa podada da *Gliricidia sepium* foi pequena. Comparando as culturas do milho, inhame, amendoim e arroz, verificaram que o Mg contido no material podado foi suficiente apenas para a cultura do arroz, devido a suas pequenas demandas.

SCHROTH *et al.* (1995) encontraram, na biomassa podada da *Gliricidia sepium*, 210 g. ha⁻¹ de Mn, 36 g. ha⁻¹ de Zn e 27 g. ha⁻¹ de Cu, após a estação seca, na Costa do Marfim. Os autores citados efetuaram, por 2 anos, 4 podas anuais, a 50 cm do solo e encontraram, neste período, um total de 426 g. ha⁻¹ de Mn, 206 g. ha⁻¹ de Zn e 88 g. ha⁻¹ de Cu. Os autores concluíram que nos solos, com deficiência de zinco, adições deste elemento podem ser necessárias para o desenvolvimento das culturas intercalares.

PALM (1995) salienta que, mesmo com a manutenção dos restos culturais, ainda ocorrem perdas de nutrientes devidas às colheitas. Eventualmente, um declínio

na produtividade dos sistemas pode ser esperado, exceto se nutrientes oriundos de fontes externas forem neles introduzidos.

Assim, apesar da considerável gama de informações sobre biomassa e conteúdo nutricional, provenientes das podas de diversas espécies agroflorestais, nem sempre os dados são comparáveis, devido a diferentes metodologias ou informação incompleta (PALM, 1995). O mesmo autor alerta sobre a dificuldade de previsão de produção de biomassa e de nutrientes para uma espécie particular, em determinado solo, clima e prática de manejo, exceto para poucas espécies bem documentadas, como a *L. leucocephala* e a *G. sepium*.

2.9 A DECOMPOSIÇÃO DO MATERIAL VEGETAL

O termo decomposição é usado para descrever um grande número de processos interrelacionados, nos quais a matéria orgânica é quebrada em partículas menores até formas solúveis de nutrientes, que são absorvidos pelas plantas (SCHLESINGER; WARING, 1985). Os constituintes das plantas representam matéria prima para a alimentação dos organismos e para a produção da matéria orgânica do solo (RUSSEL; RUSSEL, 1968). A composição desta matéria orgânica inclui, além de uma mistura de resíduos de plantas abaixo e acima do solo, resíduos microbiológicos e substâncias húmicas, estas formadas concomitantemente durante o processo de decomposição (KÖGEL-KNABNER, 1993).

COLEMAN e CROSSLEY (1996) resumem que, em geral, a decomposição é resultado da ação da biota em substratos com diferentes composições, em contraste com o clima. Estes autores apontam o uso da taxa de decomposição para integrar variáveis com o fim de avaliar distúrbios nos ecossistemas. Estas avaliações podem incluir, além da velocidade de decomposição, outras variáveis, de forma integrada, como a respiração do solo, a formação da estrutura do solo e a dinâmica de nutrientes.

O material vegetal rico em nutrientes, especialmente nitrogênio, e cuja decomposição é rápida, tradicionalmente, é considerado de alta qualidade. Enquanto resíduos lenhosos e outros materiais lignificados, como palhas de cereais, são mais resistentes à decomposição e considerados de baixa qualidade (NAIR, 1993).

Um modelo geral sobre a dinâmica da decomposição nos ecossistemas terrestres foi proposto por LAVELLE *et al.* (1993). Segundo estes autores o processo seria determinado por um conjunto de fatores organizados hierarquicamente, regulando a atividade microbiana, na seguinte ordem: clima, mineralogia das argilas e status nutricional do solo, qualidade do recurso em decomposição e o efeito dos microorganismos, todos interagindo entre si. Nos trópicos úmidos, o modelo é alterado, sendo a atividade da macrofauna (minhocas e cupins), provavelmente mais importante na regulação da decomposição, pois fatores como clima e condições edáficas são relativamente menos atuantes que as interações mutualísticas entre macro e microrganismos.

Dessa forma, o processo de decomposição é variável dentro de e entre ecossistemas localizados em diferentes zonas geográficas, de acordo com a biota, qualidade do substrato, microclima e condição do ecossistema (COLEMAN; CROSSLEY, 1996). Outros fatores apontados como limitantes do processo, tais como a relação C/N, são muito variáveis e dependentes dos anteriores (FOGEL; CROMACK, 1977).

O curso da decomposição depende das velocidades relativas em que se produz e se dissipa o calor nas etapas iniciais, pois estas determinam as temperaturas em que a decomposição é processada, a composição e a atividade microbiana (RUSSEL; RUSSEL, 1968). A temperatura é importante, por afetar a taxa de metabolismo dos organismos decomponentes (MASON, 1980). As velocidades relativas são governadas pela disponibilidade das substâncias, o aporte de água e a aeração. Um material úmido e solto, bem aerado, produz calor e decompõe-se mais rapidamente que um material compacto e mal aerado. Porém, um material demasiadamente solto perderá seu calor também rapidamente (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

2.9.1 Os organismos decomponentes

Segundo SCHLESINGER e WARING (1985), vários animais do solo são importantes no processo de decomposição, mas a grande maioria das transformações químicas é realizada por bactérias e fungos, nas camadas superficiais do solo. Há uma enorme diversidade de invertebrados do solo envolvidos na fragmentação ou mistura da serapilheira. Como resultado, tem-se um aumento na área superficial dos resíduos para o ataque microbiano e o transporte do material para o perfil do solo, permitindo condições mais constantes de temperatura e de umidade. MASON (1980) resume que a assimilação seletiva de nutrientes pela fauna edáfica tem como resultado um material de composição química (e física) diferente, disponível à microflora. SCHLESINGER e WARING (1985) complementam que, comparada aos resíduos frescos, a matéria fecal da fauna edáfica, geralmente, apresenta teores um pouco mais elevados de N, P e compostos lignificados.

Certos membros da fauna do solo podem digerir a celulose das plantas e as hemiceluloses associadas. Em alguns solos tropicais, as térmitas são, provavelmente, decomponentes tão importantes da celulose, quanto os microrganismos. Possivelmente, a fauna difere muito dos microrganismos, no que tange à produção de húmus através da decomposição dos detritos, parte da fauna produz pouco ou nada (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

Protozoários e nematóides ocorrem em todos os ambientes, em concentração da ordem de 10^6 - 10^7 m⁻². Entre os artrópodos, os grupos característicos da serapilheira terrestre são os ácaros (Ordem Acari), colêmbolas (Ordem Collembola), moscas (Ordem Diptera), "piolhos de madeira" (Ordem Isopoda) e lesmas e caracóis (Ordem Mollusca). Entre os anelídeos, as minhocas (Família Lumbricidae) são

importantes nos solos temperados e as térmitas (Família Isoptera), nos tropicais (MASON, 1980).

HOOVER e CROSSLEY JUNIOR (1995) afirmam que a maior abundância de microartrópodos nos meses mais quentes favoreceria uma decomposição mais rápida no verão, do que no inverno.

MASON (1980) explica que as mudanças no microclima, a conveniência alimentar e a capacidade colonizadora são fatores de sucessões na fauna. A microflora saprofítica inclui bactérias e fungos (SCHLESINGER; WARING, 1985). Os fungos produzem enzimas externas para reduzir a pesos moleculares menores os compostos do material atacado, tornando-se passíveis de serem absorvidos pelas paredes das hifas (MASON, 1980). O ataque microbiano ocorre através da penetração das hifas dos fungos nas estruturas celulares dos tecidos vegetais, enquanto as bactérias são predominantemente colonizadoras de superfície (SCHLESINGER; WARING, 1985).

O primeiro grupo de microrganismos que se multiplica, ao misturar-se restos vegetais ao solo, quando se inicia a decomposição aeróbica da matéria orgânica, é o dos fungos sacarolíticos, pois estes podem multiplicar-se rapidamente, enquanto decompõem os compostos simples que a célula vegetal contém. Posteriormente, se o solo for ácido estes fungos são substituídos pelos celulolíticos, ao passo que, se for neutro, a população bacteriana tende a ser dominante, a qual tem início, freqüentemente, sobre as hifas dos fungos que atacam a celulose e os açúcares. Não obstante, se o material vegetal contém tecidos fortemente lignificados, os fungos continuam sendo uma fração importante da população, pois as bactérias não são capazes de decompor as ligninas (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

2.9.2 Os substratos vegetais

Os constituintes das plantas podem dividir-se em 3 grupos principais: conteúdo celular, reserva alimentícia e parede celular. O primeiro grupo é rico em proteínas e açúcares; o segundo, em amidos, gorduras e proteínas; o terceiro, está constituído por 2 materiais bastante distintos: a estrutura e as substâncias cimentantes e incrustantes (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

A celulose é o constituinte estrutural principal das células das plantas, perfazendo entre 50-60% da madeira (MASON, 1980).

O material cimentante e incrustante consiste em 2 grupos distintos de substâncias: unidades de açúcares polimerizados e ligninas. Os primeiros predominam nos talos novos e os últimos, nos maduros. Os carboidratos são comumente divididos em substâncias solúveis em água ou ácidos diluídos - como as pectinas, gomas e mucilagens - e substâncias solúveis em álcalis diluídos - as hemiceluloses (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

A lignina ocorre associada à celulose e à hemicelulose e seu conteúdo aumenta com a idade da planta. Ela é insolúvel em água, na maioria dos solventes orgânicos e em ácido sulfúrico forte. Este composto é hidrolizado em produtos simples, assim como, os complexos de carboidratos e proteínas. É considerada uma importante fonte para a formação do húmus do solo ou matéria húmica. Sua alta resistência à decomposição microbiana pode ser a razão pela qual a lignina é acumulada no solo (TAN, 1993). Este componente contém mais carbono e menos oxigênio que a celulose. As ligninas da maior parte das plantas cultivadas diferem dos carboidratos no seu conteúdo de nitrogênio. Nas leguminosas, as ligninas podem conter até 30 g.kg^{-1} de N. Enquanto nas gramíneas, geralmente, os teores restringem-se de 15 a 20 g.kg^{-1} , no entanto, em alguns casos, podem ultrapassar os teores das leguminosas (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

Os polifenóis do material vegetal constituem de 5 a 15% do peso da planta e muitos são lixiviados dos detritos, originando taninos, que causam a precipitação de proteínas. Estes compostos também podem influenciar a velocidade de decomposição. Os polifenóis tornam as folhas menos palatáveis aos invertebrados e quanto mais polifenol a folha contém, mais devagar sua decomposição. No entanto, esta correlação não se aplica diretamente comparando-se as espécies vegetais (MASON, 1980).

A decomposição processa-se de maneira seletiva, conforme a natureza e composição química dos materiais. Ocorre a transformação dos resíduos vegetais em material húmico e a formação de complexos agregados entre a matéria orgânica e as frações minerais do solo (MASON, 1980).

Os carboidratos solúveis são rapidamente lixiviados do material fresco e metabolizados pelos microrganismos. As proteínas dos tecidos vegetais e dos microrganismos mortos também são prontamente degradadas. Os constituintes das paredes celulares, a celulose e a lignina são mais resistentes à decomposição (SCHLESINGER; WARING, 1985).

Na marcha geral da decomposição da palha de cereais, sob condições normais, inicialmente, são atacadas as hemiceluloses incrustadas nas fibras de celulose, sobretudo, por fungos. Tal ataque é acompanhado da emissão de calor e de anidrido carbônico. A característica mais marcante deste ataque é a perda de celulose, a qual é responsável pela maior perda de matéria orgânica (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

STOTT e MARTIN (1990) explicam que as proteínas e polissacarídeos, apesar de serem biodegradados rapidamente, decompõem-se a uma velocidade menor que os açúcares simples e os ácidos. Depois de 6 a 12 meses de 70 a 85% do C dos polissacarídeos ou proteínas serão desprendidos como CO_2 . Do C residual destes substratos, mais de 16% serão encontrados na biomassa microbiana do solo. As proteínas e polissacarídeos contêm unidades de aminoácidos ou aminoaçúcares que poderiam ser incorporadas às macromoléculas do húmus, via adições nucleofílicas a

quinonas ou por fortes pontes de hidrogênio. Moléculas altamente ramificadas podem ser mais recalcitrantes que as moléculas de cadeia simples.

STOTT e MARTIN (1990) afirmam que durante a biodegradação da lignina, numerosas substâncias fenólicas são liberadas em pequenas porções, mas porções de moléculas de lignina, em todos os estágios de decomposição poderiam sofrer reações de oxidação e ser ligados a moléculas de ácidos húmicos. Segundo estes autores, cerca de 60 a 80% do C dos resíduos das plantas retorna à atmosfera como CO₂ após 1 ano. De 5 a 15% do C restante no solo ocorre na biomassa microbiana e o restante é parcialmente estabilizado na forma de novo húmus.

Ainda de acordo com STOTT e MARTIN (1990), em estudos de culturas, os compostos fenólicos simples e outras moléculas aromáticas podem ser rapidamente degradadas, por diversas espécies de microrganismos. Todavia, no solo, a biodegradação e estabilização estão relacionadas a uma reatividade específica dos compostos com respeito a reações de polimerização via oxidação.

São de importância prática as demandas de nitrogênio pela população microbiana, durante a decomposição. No geral, quando se decompõe materiais contendo menos de 1,2 a 1,3% de N, em sua massa seca, na presença de sais de amônio, parte do amônio é absorvido e convertido em compostos de nitrogênio orgânico (RUSSEL; RUSSEL, 1968). Os autores também afirmam que se o material contém mais de 1,8% de N, parte deste N converter-se-á em amônio, no decorrer do processo, ainda que a proporção de N não seja muito superior a esta, o amônio pode ser absorvido e fixado nas etapas iniciais da decomposição. Quando o material contém teores entre 1,2 e 1,8% pode imobilizar N durante sua decomposição, disponibilizando-o mais tarde (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

Desta forma, a decomposição no solo de um material pobre em nitrogênio diminuirá sua riqueza em nitrogênio mineral, enquanto a decomposição de um material rico em N, aumentará. No entanto, estes efeitos dependem, também, do tipo de material sujeito à decomposição e não, somente de sua riqueza em N. Tampouco a relação C/N do material é um índice seguro do efeito do processo de decomposição sobre o nível de nitrogênio mineral no solo. O nitrogênio de um material não é completamente acessível aos microrganismos, estes podem utilizar-se de sais de amônio, preferencialmente a compostos nitrogenados dificilmente assimiláveis (RUSSEL; RUSSEL, 1968).

Segundo MASON (1980), aumentos nos níveis de N foram encontrados em folhas de árvores em decomposição na água e na terra e são devidos à atividade de microrganismos que fixam nitrogênio da atmosfera (ou água), enquanto utilizam uma fonte de carboidrato da serapilheira. Este N fixado pode ser incorporado em diferentes aminoácidos, mais que o encontrado nos tecidos originais da planta, melhorando a qualidade da serapilheira, como substrato para outros microrganismos.

RUSSEL e RUSSEL (1968) afirmam que o processo de decomposição pode imobilizar outros elementos nutritivos, além do N, bem como, ser retardado quando

há falta dos mesmos. Estes pesquisadores relatam que as cinzas do protoplasma microbiano podem conter até 25% de fósforo e 37% de potássio, de modo que os microrganismos podem competir com as culturas pelas reservas disponíveis destes nutrientes se o solo ou a matéria orgânica em decomposição apresentam baixas quantidades dos mesmos. A velocidade de decomposição das folhas de arbóreas depende da quantidade de bases em seu conteúdo, não há clareza se isto se deve às bases governarem o pH do material em decomposição e, por conseguinte a composição da microflora, ou a seu efeito nutritivo sobre os microrganismos.

As bactérias e fungos tipicamente apresentam elevadas demandas nutricionais. Assim, alguns nutrientes dos resíduos são retidos, na forma iônica, para a síntese protéica e formação de outros componentes da biomassa dos decompositores. Esta retenção denomina-se imobilização. Quando as concentrações dos nutrientes nos resíduos são muito baixas, os microrganismos podem acumular e imobilizar nutrientes solúveis dos lixiviados e nutrientes disponíveis na solução do solo (SCHLESINGER; WARING, 1985).

2.9.3 A avaliação da velocidade da decomposição

A velocidade de decomposição do material vegetal pode ser medida pelo encerramento do material em sacos de malha adequada, pelo amarrão de folhas individuais ou pelo uso de radioisótopos (MASON, 1980).

BOYD (1970, *apud* MASON, 1980) colocou serapilheira seca de *Typha latifolia* em sacos de fibra de vidro. Um grupo de sacos foi suspenso a 12 cm acima da superfície da água, o outro grupo foi submerso 30 cm abaixo da superfície e as perdas de peso e de nutrientes foram estudadas. A perda de peso da serapilheira foi muito maior nos sacos submersos que nos sacos suspensos, especialmente, durante os 20 dias iniciais, tendo ocorrido intensa lixiviação. O potássio e o sódio entraram rapidamente num estado solúvel e foram lixiviados, enquanto a perda de cálcio e de magnésio foi menos rápida, com maior quantidade permanecendo até o fim do experimento. Da mesma maneira, o fósforo teve um nível residual grande. Assim, MASON (1980) concluiu que as perdas de peso e de nutrientes de uma serapilheira, devidas à lixiviação, ocorrem mais rapidamente no primeiro mês de sua entrada na camada de detritos.

MASON e BRYANT (1975, *apud* MASON, 1980) estudando a decomposição da *Typha angustifolia* e da *Phragmites communis*, em Alderfen Broad, Norfolk constataram que no primeiro mês foram lixiviados da serapilheira 75% do Na, 93% do K, 70% do Ca e 65% do Mg. O cálcio e o magnésio estão mais ligados ao complexo estrutural das moléculas nas plantas que o sódio e o potássio, sendo, assim, lixiviados mais vagarosamente (MASON, 1980).

WIEDER e LANG (1982) explicam que o método das sacolas de decomposição, comumente, tem sido atribuído a BOCOCK e GILBERT (1957), todavia, relatam que para FALCONER *et al.* (1933), LUNT (1933 e 1935) e

GUSTAFSON (1943), o princípio do confinamento de quantias conhecidas de material, com o objetivo de acompanhar sua decomposição, foi usado muito antes.

Esta técnica consiste em acondicionar material vegetal de massa conhecida ou, ainda, quimicamente conhecido em recipientes fechados. Inicialmente, um grande número de bolsas é colocado no campo e, temporariamente, retirado um grupo de bolsas para analisar a perda de peso ou mudanças na composição química do material vegetal (WIEDER; LANG, 1982).

Conforme relatam MAGID *et al.* (1997), o método das sacolas de decomposição foi desenvolvido para elucidar a decomposição em sistemas de solo naturais, onde ocorria o desenvolvimento de uma camada de serapilheira. Por sua simplicidade, tal sistema foi estendido para sistemas de solos arados, onde os resíduos vegetais são incorporados ao solo. Assim, os resíduos são introduzidos no solo, mas permanecem confinados na sacola de tela.

Este método pode induzir a vários erros, tais como, exclusão de certos organismos (macrorganismos), modificação no microclima dentro das bolsas diferindo do ambiente natural e afetando as taxas de decomposição (COLEMAN; CROSSLEY, 1996). EDWARDS (1977), comenta que os experimentos com bolsas são suscetíveis a grandes erros devido à perda de fragmentos e entrada de materiais estranhos nas mesmas. Neste aspecto, tenta-se minimizar a contaminação do material em análise, utilizando-se malhas pequenas. Apesar das limitações, o método permanece como a técnica mais comum para examinar a decomposição de material vegetal nos ecossistemas terrestres. Embora possa subestimar a decomposição real, assume-se que os resultados de seus estudos refletem tendências características do material não confinado em decomposição. Logo, permitem comparações entre espécies, lugares e manipulações experimentais (WIEDER; LANG, 1982).

De acordo com os resultados de HENROT e BRUSSAARD (1997), a decomposição da *Flemingia congesta* foi mais rápida nas sacolas de malha de 2 mm, em comparação à malha de 0,5 mm, indicando que a macrofauna exerceu um papel significativo no processo de decomposição. Quando compararam malhas de 2 e 7 mm, os autores não encontraram, diferenças significativas, sugerindo que malhas de 2 mm não restringiram a ação da macrofauna que afeta a decomposição daquelas espécies, no local estudado.

De acordo com dados não publicados por VANLAUWE (1991 *apud* VANLAUWE *et al.*, 1997) não houve diferenças significativas entre os resultados obtidos através de sacolas de decomposição de malhas de 1,4 mm e de 5 mm, em um estudo realizado no sudoeste da Nigéria. O autor concluiu que, naquelas condições experimentais, era mínimo o efeito da macrofauna edáfica.

2.9.4 O nitrogênio, a lignina e a degradação da matéria seca

PALM (1995) relata que em folhas de espécies agroflorestais, há uma ampla variação nas percentagens de liberação de N iniciais e nos padrões de imobilização e mineralização, comparados ao descrito para os cultivos agrícolas e serapilheira das florestas. A porcentagem de N e a razão lignina/N (LIG/N) dos materiais nem sempre servem como índices para os padrões de decomposição dos materiais agroflorestais.

Análises de regressão múltipla indicam que a percentagem de N é o fator primário e a percentagem de polifenóis (PP), o secundário na determinação do percentual inicial de N liberado (CONSTANTINIDES; FOWNES, 1994).

Segundo PALM (1995), se a percentagem de N no material orgânico for menor que 1,74, como no caso da maioria das serapilheiras e muitas espécies não leguminosas, ocorrerá imobilização de N, por um tempo relativamente longo. Se a percentagem de N for maior que 1,74, ocorrerá mineralização de N, porém esta decrescerá como função da relação (LIG+PP)/N. Se as concentrações de lignina forem superiores a 15%, ou as concentrações de polifenóis solúveis forem superiores a 3%, haverá tendência à redução ou atraso na liberação do N. Enquanto os dados sobre os padrões de liberação de N das espécies agroflorestais ainda são escassos, PALM (1995) propõe a consideração das assertivas acima, alertando, porém à necessidade de mais investigações.

HAGGAR *et al.* (1993) em estudo elaborado com N marcado com a *Erythrina poeppigiana* e a *Glicídia sepium*, concluíram que o destino final da maior parte do N liberado por estas espécies era alguma fração da matéria orgânica do solo. Eles também concluíram que esta fração não era a biomassa microbiana porque a biomassa continha somente 3-5% do N adicionado e não havia diferenças no N microbiano, entre os tratamentos, a despeito das diferentes quantidades de material orgânico adicionado. Eles suspeitaram que se tratava de uma fração de decomposição mais lenta. Já LADD *et al.* (1981), na primeira rotação leguminosa-trigo, encontraram uma taxa de recuperação do N adicionado pela leguminosa de 11-17%. Sendo que de 72-78% do N foi encontrado na matéria orgânica do solo. Conforme observado por PALM (1995), estes 2 estudos mostram que o benefício das adições de leguminosas é maior através da formação, a longo prazo, do N orgânico do solo do que de sua liberação direta, pela decomposição do vegetal fresco.

A volatilização de N da biomassa vegetal aplicada ao solo só ocorrerá se esta for aplicada na superfície. Assim, a importância desta forma de perda dependerá, além dos fatores do solo e do clima, das práticas de manejo. Perdas do N oriundo de adubos verdes, via volatilização, medidas através de incubações em laboratório, variaram de 5 a 50%, predominando valores inferiores a 20% (COSTA *et al.*, 1990; JANZEN; MACGINN, 1991).

As perdas por lixiviação são consideráveis em ambientes úmidos, onde a umidade do solo atinge uma profundidade maior que a zona de enraizamento das

culturas agrícolas (PALM, 1995). Mesmo podendo ocorrer tal lixiviação, as raízes profundas do componente arbóreo podem interceptar o N lixiviado (VAN NOORDWIJK *et al.*, 1996).

MACLAUGHERTY *et al.* (1985) concluíram que o acúmulo máximo de nitrogênio por grama de resíduo e a quantia de N acumulada por grama de massa seca perdida correlacionaram-se com a taxa de mineralização do N, somente na espécie que apresentou a menor concentração inicial de N. Segundo estes autores, isto indica que, a exceção dos materiais mais pobres em N, a dinâmica deste elemento, durante os estágios iniciais de degradação é essencialmente independente da disponibilidade de nutrientes no solo.

KACHAKA *et al.* (1993) afirmam que diversos autores associam a taxa de decomposição à idade do material. VANLAUWE *et al.* (1997), analisando 4 podas de *Leucaena leucocephala* e 4 de *Senna siamea*, com tempos variados de rebrota, encontraram um aumento na concentração de N, durante o processo de biodegradação (período total de 120 dias), nos resíduos da primeira e da terceira podas (cujo material apresentava maior idade - 29 e 14 semanas). Os resíduos da 2ª poda (6 semanas de idade), durante a decomposição, revelaram redução em sua concentração de N, após um aumento inicial. O material com 8 semanas de idade não mostrou muita variação, em seu teor de N.

Para KACHAKA *et al.* (1993) e VANLAUWE *et al.* (1997), os resíduos de maior idade continham menor concentração de N. Durante a fase inicial de decomposição, estudada por VANLAUWE *et al.* (1997), os resíduos da 2ª e da 3ª podas tiveram aumentos no teor de N significativamente maiores e mais rápidos do que os resíduos da 1ª poda. De acordo com VANLAUWE *et al.* (1994), a lixiviação não pode ter causado tal efeito, pois as frações solúveis contêm mais N do que as frações das paredes celulares. VANLAUWE *et al.* (1997) supõem que o aumento na concentração de N esteja relacionado à imobilização pela microbiota. A diminuição dos teores de N, a partir da segunda metade do tempo total de decomposição, dos resíduos da 2ª poda, pode ter sido causada por uma mudança na composição da comunidade microbiana. Neste estágio, a maioria dos compostos facilmente degradados já foi oxidada, restando um substrato mais adequado aos fungos, os quais portam uma relação C/N mais elevada (VANLAUWE *et al.*, 1997).

Segundo VANLAUWE *et al.* (1997), o teor de polifenóis foi menor para as folhas mais velhas da *Senna siamea*. Estes cientistas concluem que a qualidade dos resíduos depende da razão entre folhas novas e folhas velhas e senescentes do material a ser podado.

TAYLOR *et al.* (1989) e MELILLO *et al.* (1982) sugeriram que a forte dependência do teor inicial de N na velocidade de decomposição dos resíduos poderia ser resultado deste elemento ser limitante neste grupo de substratos. Nota-se que o material trabalhado por MELILLO *et al.* (1982) apresentava entre 5,2 g.kg⁻¹ a 13,1 g.kg⁻¹ de N. MELILLO *et al.* (1982) também consideram que quando há fornecimento de N por fontes exógenas para os microrganismos, o teor inicial dos

resíduos não exerce grande influência na velocidade de decomposição e a lignina pode assumir uma importância maior na determinação desta velocidade.

TAYLOR *et al.* (1989) afirmaram que a relação LIG/N pode ser usada para prognosticar a taxa de decomposição de um material vegetal, entretanto, de forma limitada, prevalecendo para os casos de altos teores de lignina ($>25\%$). No entanto, no estudo de KACHAKA *et al.* (1993) os teores de lignina e a relação lignina/N foram de 17,2% e 5,3 para a *F. macrophylla* e de 8,1% e 1,9 para a *L. leucocephala*, respectivamente, e os autores concluíram que as relações lignina/N e (lignina+polifenóis)/N são fatores predominantes na determinação da decomposição e liberação de N, anulando os efeitos de compostos solúveis. TAYLOR *et al.* (1989) denotam que seus resultados estão de acordo com diversos estudos recentes, por exemplo, SCHLESINGER e HASEY (1981) e MOORE (1984), os quais não conseguiram identificar fortes correlações entre a lignina ou LIG/N e a taxa de decomposição. McCLAUGHERTY *et al.* (1985) também concluíram que a decomposição não está claramente relacionada com a qualidade do material.

TAYLOR *et al.* (1989) mesmo considerando que a relação C/N pode, simplesmente, descrever as proporções destes elementos, sem revelar como eles estão distribuídos, entre as importantes classes químicas da célula, observaram uma forte tendência a que os resíduos com elevados teores em carbono apresentassem baixos teores de N e de P e elevadas concentrações de lignina.

Segundo TAYLOR *et al.* (1989), a lignina exerce o controle da taxa de decomposição através de sua própria resistência ao ataque enzimático e fisicamente interferindo na degradação de outras frações químicas das células foliares. Por conseguinte, a influência da lignina será muito mais forte para as espécies com elevados teores deste composto. Os autores sugerem que em uma série de materiais com teores decrescentes de lignina, a importância deste composto diminuirá, enquanto a influência de outros compostos, tais como carboidratos e nutrientes, aumentará, proporcionalmente, até chegar a um teor crítico, a partir do qual, a lignina não mais exercerá influência na taxa de decomposição. Entretanto, à medida que a decomposição é processada, em um material com baixo teor de lignina (por exemplo, herbáceas com lignina $<10\%$), os compostos mais rapidamente degradados vão sendo metabolizados e a lignina passa a assumir importância.

De acordo com HOOVER e CROSSLEY JUNIOR (1995) os substratos contendo elevados teores de compostos fenólicos conterão menos microartrópodos e sua decomposição será mais lenta que nos materiais de alta qualidade.

HENROT e BRUSSAARD (1997), comparando malhas das sacolas de decomposição entre 0,5 e 2 mm, verificaram que a *Flemingia congesta* foi atacada pela macrofauna edáfica desde o início do período de decomposição. Por outro lado, o aumento da taxa de decomposição da *Dactyladenia barteri* devido ao efeito da macrofauna começou somente após ter iniciado a decomposição via fungos e bactérias, após, aproximadamente, 20 semanas. A explicação dos pesquisadores foi a elevada concentração de lignina da *Dactyladenia*, próxima a 40%. O retardamento

da decomposição pela macrofauna aconteceria nos materiais com altos teores de lignina (>25%).

TAYLOR *et al.* (1989) concluem que quando o teor de lignina é baixo, a relação C/N e a disponibilidade de nutrientes prediz melhor a taxa de decomposição. Quando o teor é médio, a previsão é mais coerente com a relação LIG/N. Finalmente, quando a porcentagem de lignina é alta, e desde que não sejam considerados materiais com percentuais de lignina muito variados, este composto é um bom determinante.

MELILLO *et al.* (1982) sugerem, ainda, que uma análise das mudanças absolutas nas quantias de nitrogênio relativas às mudanças nas quantias absolutas de carbono, indica que quanto maior a concentração inicial de lignina, maior a quantia de nitrogênio imobilizado por unidade de carbono respirado. MELILLO *et al.* (1982) afirmam que este fenômeno pode ser resultado da formação de complexos de nitrogênio meta-estável (i.e. húmus) derivados da lignina, durante a decomposição. Se esta interpretação estiver correta, os autores acima citados concluem que a quantia de húmus formada a partir dos resíduos vegetais seria positivamente correlacionada com o teor de lignina inicial do material. Desta forma, o teor de lignina teria implicação com a ciclagem do nitrogênio. Pois o conteúdo de N ligado ao húmus está entre 5 e 5,5% e é considerado elevado (ALLISON, 1973).

Para VANLAUWER *et al.* (1997) a taxa de liberação de N está significativamente correlacionada com a razão polifenóis/N (PP/N) e (PP+LIG)/N e não se correlaciona com LIG/N. Com o auxílio de curva de regressão, os autores concluíram que o teor de polifenóis diminui a velocidade do processo. FOX *et al.* (1990) e FERREIRA *et al.* (1997) concluíram que a decomposição poderia ser determinada melhor através da relação (polifenóis+lignina)/N, para as folhas. FOX *et al.* (1990) explicam que, como a formação de compostos recalcitrantes - os polímeros húmicos nitrogenados - a partir da lignina e outros polifenóis vegetais, reduziria a taxa de mineralização do N vegetal, não é surpresa que a razão (PP+LIG)/N permita um prognóstico da mineralização do N melhor do que qualquer dos constituintes separados.

Já no estudo de LEHMANN *et al.* (1995) a relação inicial PP/N poderia prognosticar a perda de matéria seca de folhas e raízes somente se estas fossem consideradas separadamente. Segundo estes autores, o teor de lignina pode tornar-se um fator adicional na determinação da perda de massa seca, quando uma ampla variação na qualidade dos substratos é considerada. Os mesmos autores encontraram uma correlação linear quando a relação (PP+LIG)/N foi menor que 20.

Para completar o entendimento e a quantificação do conceito de sincronização, é necessário considerar a técnica de sacolas de decomposição como parte de um esquema amostral mais elaborado, incluindo o fracionamento da matéria orgânica, já que o N e outros nutrientes liberados não são necessariamente excluídos do sistema, podendo ser incorporados na matéria orgânica do solo e absorvidos por uma cultura sucessora (VANLAUWER *et al.*, 1997).

2.9.5 A liberação do fósforo através da decomposição de materiais vegetais

Apesar dos padrões de liberação de fósforo (P) geralmente seguirem aqueles da biomassa, PALM (1995) ressalta que pode haver períodos de imobilização. Estas fases podem exacerbar deficiências de P na solução do solo, relacionadas à demanda pelas culturas agrícolas. Há pouco entendimento sobre os fatores que controlam a liberação e a imobilização do P. A redução da capacidade de fixação de P no solo, pela adição de material orgânico, é temporária e, provavelmente, depende da qualidade do material adicionado. O potencial do material vegetal em aumentar a disponibilidade de P, tanto pela liberação através de sua decomposição, quanto pela redução da fixação de P no solo pode ser um critério importante na seleção de espécies agroflorestais (PALM, 1995).

O fósforo é um elemento prontamente móvel na planta. O fosfato é absorvido pelas plantas, permanecendo na forma inorgânica ou ligando-se por uma hidroxila a uma cadeia carbônica, formando um éster. O fosfato do éster pode ligar-se a outro fosfato, através de uma ligação rica em energia, a ligação pirofosfato (MARSCHNER, 1993). Além de formar os compostos fosforados com açúcares ou álcoois, o fosfato pode ligar-se a lipídios, formando os fosfolipídios ou, através das ligações pirofosfato, gerar os nucleotídeos trifosfato. Os nucleotídeos estão presentes principalmente no núcleo das células, os ésteres fosfatados de açúcares prevalecem no citoplasma, os fosfolipídios nos cloroplastos e o fosfato inorgânico no vacúolo (MENGEL; KIRKBY, 1987). Quando o fosfato liga-se na forma de diésteres, age como uma ponte, conectando unidades de modo a formar estruturas mais complexas ou macromoleculares, muito mais estáveis, como os fosfolipídios, na membrana celular (MARSCHNER, 1993).

Enquanto o nitrogênio está principalmente ligado a grupos de aminas e é mineralizado como um resultado entre a demanda microbiana por energia e síntese de proteínas, o fósforo, predominante em ésteres, é liberado em resposta a demandas nutricionais dos microrganismos (SCHLESINGER; WARING, 1985).

Nas células bacterianas, a maior quantidade de fósforo está nas moléculas de RNA, representando de 1/3 ou 1/2 de todo o P das bactérias. A concentração de fosfolipídios equivale a menos de 10% do P total das bactérias. Os ésteres de fosfato ocorrem também nas paredes celulares das bactérias. Diversos microrganismos produzem as enzimas fitases, nucleases e fosfolipases que degradam compostos fosfatados, sendo que os ácidos nucléicos são rapidamente decompostos (TSAI; ROSSETTO, 1992).

As adições de matéria orgânica, normalmente, estimulam o crescimento de populações microbianas, por consequência, aumentam a demanda por fósforo. As bactérias e os actinomicetos acumulam mais fósforo do que os fungos ou plantas (TSAI; ROSSETTO, 1992). O fósforo imobilizado é liberado após a morte das células. Alguns ésteres são rapidamente decompostos, tendo pequena permanência no solo, enquanto outros são adsorvidos aos minerais de argila, onde se acumulam (ANDERSON, 1977 *apud* TSAI; ROSSETTO, 1992).

A razão C/P pode determinar a predominância da liberação ou da imobilização. Desta forma, a mineralização de N, S e P da matéria orgânica ocorreria devido à oxidação de C a CO₂ pelos microrganismos, em taxas similares à relação esteoquimétrica que haveria entre C:N:S:P na matéria orgânica, onde a microbiota procederia a oxidação do carbono para a obtenção de energia (TSAI; ROSSETO, 1992). LOUSIER e PARKINSON (1978) propuseram que as relações C/P acima do valor 230/1, impediriam a liberação de P.

2.9.6 A liberação do potássio, cálcio e magnésio através da decomposição de materiais vegetais

BUDELMAN (1988b) explica que pelo fato do potássio estar presente como um íon livre e móvel no suco celular, participando da síntese de aminoácidos e proteínas, quando as membranas celulares se desintegram, o potássio é facilmente liberado do material orgânico. De acordo com SCHLESINGER e WARING (1985), grande parte do K presente no material em decomposição é liberada antes da degradação microbiana.

BUDELMAN (1988b) alega que a baixa taxa de liberação do cálcio não é claramente compreendida, podendo ser influenciada por sua baixa mobilidade como nutriente das plantas e seu acúmulo nas folhas senescentes. Pode estar associada à sua presença na forma de pectatos de Ca na lamela média da parede celular. A variação na distribuição do cálcio pode provocar grandes variações no conteúdo de cálcio nas amostras analisadas, explicando a baixa qualidade de um modelo de perda de cálcio, comparado a outros elementos (BUDELMAN, *op. cit.*).

SCHLESINGER e WARING (1985) consideram, ainda, a imobilização do Ca na forma de cristais de oxalatos, nos tecidos dos fungos.

BUDELMAN (1988b) compara o magnésio ao potássio, ambos presentes como íons livres e facilmente liberados. No entanto, acrescenta que parte do magnésio é constituinte de estruturas moleculares complexas, citando o exemplo de clorofilas e pectinas, podendo causar a redução na velocidade de sua liberação dos tecidos foliares.

2.9.7 A liberação dos micronutrientes através da decomposição de matérias vegetais

De acordo com STEVENSON (1986), para muitas culturas, elevadas percentagens de micronutrientes são recicladas através dos resíduos orgânicos. O autor cita a concentração de microelementos na palha, nas raízes e no restolho de cereais.

STEVENSON (1986) explana que os microrganismos afetam a disponibilidade dos micronutrientes através da liberação ou imobilização dos elementos, durante a

decomposição de resíduos animais e vegetais, já que os microrganismos podem competir pelos elementos, assim como as plantas superiores. O investigador acrescenta que a influência também pode ocorrer através da síntese de agentes bioquímicos formadores de quelatos, que imobilizam formas insolúveis de micronutrientes, pela oxidação de um elemento (Fe, Mn) em formas menos disponíveis, pela redução de um elemento a partir da forma oxidada, em ambientes deficitários em O_2 , através de transformações indiretas resultantes do pH ou mudanças no potencial de oxi-redução.

Segundo STEVENSON (1986), sabe-se muito pouco sobre as quantidades relativas de complexos de matéria orgânica com metais ou dos fatores que afetam a disponibilidade destes micronutrientes na forma orgânica para as plantas e microrganismos, nos diversos tipos de solo.

LOUSIER e PARKINSON (1978) sugerem que os mesmos fatores que concorrem para o aumento do ferro, concorrem para o aumento do manganês, incluindo deposição de poeiras e intemperismo do material do solo. Estes autores sugerem que há considerável variação na mobilidade do N, P, K, Ca, Mg e Mn, dependendo dos ecossistemas a serem estudados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi implantado em março de 1996, a 2500 m da sede do município de Morretes-PR, cuja latitude é de 25°30' sul e sua longitude é 48°49' oeste (IAPAR, 1978). A altitude corresponde, aproximadamente, a 49 m acima do nível do mar. A área foi pré-selecionada de modo a resultar na menor variação de solo possível, considerando condições de campo. Tratava-se de um cambissolo profundo, com A moderado, textura média, relevo forte ondulado.

De acordo com a classificação climática de Wladimir Koeppen, a região apresenta o clima caracterizado por Af, ou seja, clima tropical super-úmido, sem estação seca e isento de geadas. A média das temperaturas dos meses mais quentes é superior a 22° C e a dos meses mais frios é superior a 18° C. A temperatura média anual está entre 20 e 21° C, sendo que a temperatura média do mês mais quente está entre 23 e 24° C e do mês mais frio, entre 14 e 16° C (IAPAR, 1978). O índice hídrico, segundo THORNWAITE (1948, apud IAPAR, 1978), é maior que 100, considerado como superúmido, sem deficiência anual.

A precipitação média anual varia entre 2000 e 3000 mm (IAPAR, 1978). A precipitação total em 1996 foi de 2218,5 mm, apresentando uma correlação de 98,95% comparada à média, em 1997 totalizou 1951,4 mm, com 97,77% de correlação, e até julho de 1998 o volume de chuvas chegou a 1511,3 mm, correlacionando-se em 99,17% com a precipitação média da época equivalente.

A região insere-se no bioma Floresta Ombrófila Densa, conhecida vulgarmente por Floresta Atlântica. A área do experimento, primariamente, era coberta pela Floresta Ombrófila Densa Submontana, a qual foi retirada há mais de 27 anos, conforme se observa pela fotografia aérea de 29/06/80.

A cobertura vegetal encontrada à época da instalação do experimento caracterizava-se por vegetação secundária em estado inicial de regeneração natural, de porte herbáceo-arbustivo, predominando as famílias *Melastomataceae*, *Verbenaceae* (*Stachytarphetta cayenensis* - gervão), *Malvaceae* (*Sida glaziovii* - quanxuma) e *Compositae* (*Vernonia westiniana* - cambará ou assa-peixe).

3.2 ANÁLISE DO SOLO PARA A CARACTERIZAÇÃO INICIAL

3.2.1 Coleta e preparo do solo

Foram coletadas 5 amostras simples do horizonte A, na profundidade de 0-20 cm e 5 amostras simples do horizonte B, na profundidade de 40-60 cm, através de mini-trincheiras, utilizando-se cortadeiras e uma trena. Cada amostra foi retirada de um ponto correspondente a um dos 5 blocos. As amostras foram coletadas à época da instalação do projeto e orientaram a classificação do solo na área do experimento.

Para a análise dos micro-elementos do solo, efetuaram-se novas mini-trincheiras, nos mesmos locais, separando a porção de solo a ser aproveitada com o auxílio de material plástico (pá), evitando a contaminação com metais.

O material foi levado à estufa do Departamento de Solos da UFPR, a 65°C, por 3 dias. As amostras foram, então, moídas e peneiradas em peneiras com malha de 0,002 m.

3.2.2 Análises química e física do solo

Determinou-se o N pelo método de Kjeldahl, através de digestão com H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado (HILDEBRAND, 1976-77).

Utilizou-se a metodologia de PAVAN *et al.* (1992) para as análises do pH, acidez potencial, Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e P.

Foi efetuada a leitura do pH em $CaCl_2$ (cloreto de cálcio) 0,01M em potenciômetro. A determinação da acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi realizada mediante a correlação negativa que existe entre a mesma e o pH_{5MP} .

A concentração de Al^{3+} (acidez trocável ou alumínio trocável) foi encontrada através de extração com KCl (cloreto de potássio) 1M e titulação com solução de NaOH 0,015N, usando-se o indicador azul de bromotimol 0,5%.

Para a determinação de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ e de Ca^{2+} separado também usou-se o extrator KCl 1M. No caso da análise de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ utilizou-se uma solução tampão a pH 7,0 e o indicador negro de eriocromo. A leitura do Ca^{2+} foi procedida com a adição de uma solução de NaOH + trietanolamina a pH 12,0 e o indicador calcon. Ambas as soluções foram tituladas com EDTA - ácido dietilaminotetracético.

Utilizou-se o extrator Mehlich-1 (H_2SO_4 0,025N + HCl 0,05N) para o fósforo e o potássio disponíveis do solo.

A leitura do K^+ foi realizada através de fotometria de chama. A leitura do fósforo foi efetuada por fotocolorimetria.

O carbono orgânico foi determinado via úmida através do método Walkley-Black, utilizando-se como reagentes o $K_2Cr_2O_7$ 0,5 N (dicromato de potássio), o $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,5 N (sulfato ferroso amoniacal) e o indicador difenilamina (PAVAN *et al.*, 1992, modificado).

Para a análise textural, foi utilizado o método da pipeta (EMBRAPA, 1979).

3.4 ESPÉCIES UTILIZADAS

As espécies trabalhadas, bem como os municípios de onde as sementes foram coletadas, no Paraná, e o respectivo poder de germinação (G), quando analisado, estão mencionados a seguir:

- 1) *Senna multijuga* (L. C. Rich.) Irwin & Barneby (Terra Boa, G=25%);
- 2) *Senna macranthera* (D.C. ex Colladon) Irwin & Barneby (Peabiru, G=40%);
- 3) *Inga sessilis* Mart. (Morretes);
- 4) *Flemingia congesta* (Morretes);
- 5) *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit cv. *Cunningham* (Terra Boa, G=65%).

3.4.1 *Senna multijuga* (L. C. Rich.) Irwin & Barneby

A descrição desta espécie baseou-se em CARVALHO (1994).

Sua sinonímia botânica é *Cassia multijuga* L. C. Rich. É também chamada paucigarra, aleluia, acácia, amarelinha, chuva-de-ouro, cigarreira, entre outras denominações regionais. Pertence à família Caesalpiniaceae (ex-Leguminosae-Caesalpinioideae) e à tribo Cassiae. No Litoral do Paraná é conhecida como aleluieira.

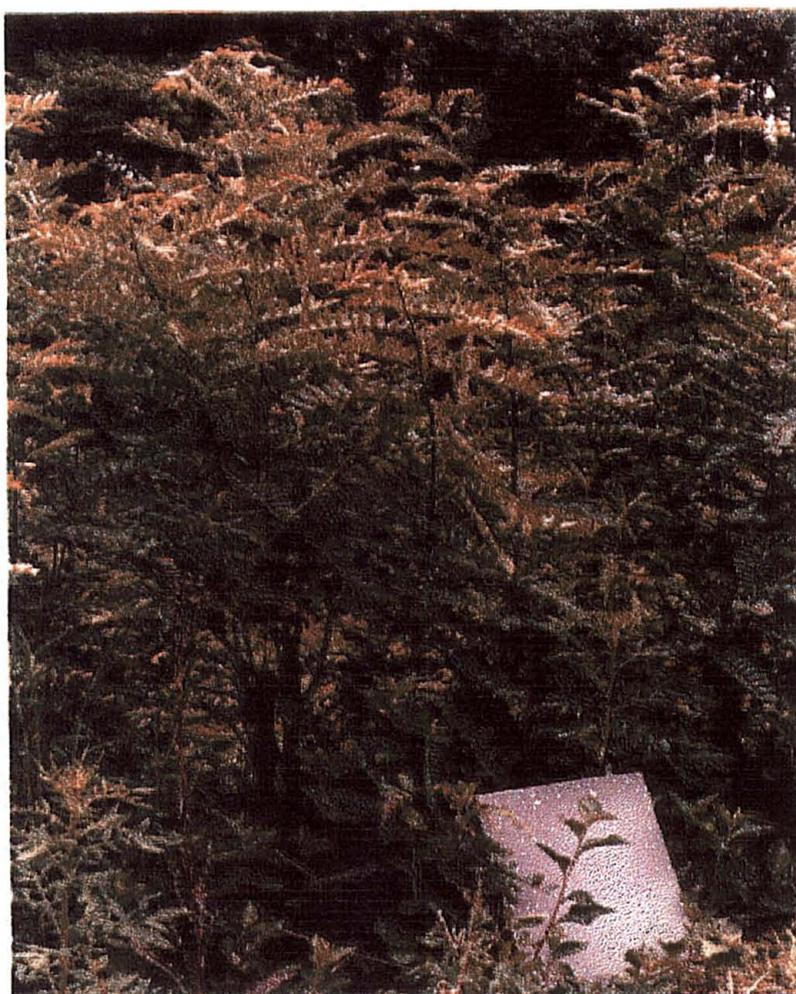
É uma árvore caducifólia, sua altura varia, comumente, entre 3 a 10 m e seu DAP, entre 20 a 30 cm. Possui tronco curto, copa baixa, arredondada e irregular, com ramos jovens lenticelados. Sua casca tem até 5 mm de espessura e externamente é cinza, com manchas claras e cicatrizes peciolares. Apresenta folhas compostas, ráquis com até 30 cm ou mais de comprimento. Seus folíolos são opostos, curto-peciolados, oblongos, face superior glabra ou pubérula, glândula claviforme a estipitada raquel na base do ráquis. Suas flores são hermafroditas, de tom amarelo-vivo ou amarelo-ouro, reunidas em panícula terminal múltipla com comprimento até 30 cm. Seus frutos são legumes retos, achatados lateralmente, de coloração castanha-escura, deiscentes. Suas sementes são planas, parda-esverdeada, com 5 a 8 mm de comprimento, por 1 a 1,5 mm de largura.

No Paraná seu florescimento ocorre de dezembro a março, amadurecendo seus frutos de maio a julho.

A *S. multijuga* ocorre naturalmente entre as latitudes 14°S - Estado da Bahia - a 28°S - Estado de Santa Catarina. Trata-se de uma espécie pioneira a secundária inicial, de grande agressividade, com longevidade moderada. Seu habitat é a floresta ombrófila densa (floresta atlântica), sendo comum nas formações aluvial e das terras baixas, na floresta estacional semidecidual, na floresta ombrófila mista (floresta com araucária) e na restinga.

A espécie é heliófila, apresenta brotação após o corte, não só do colo, como de várias alturas do tronco. Sua desrama natural é deficiente, fazendo-se necessárias podas de condução e dos galhos.

FIGURA 1 . ASPECTOS DA ALELUIEIRA EM OUTUBRO/97.



De acordo com dados da EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisas de Florestas - CNPF, em seu plantio experimental em Paranaguá, em um Latossolo Vermelho-Amarelo podzolizado, com 8 anos de idade, espaçamento de 3x2 m a espécie atingiu uma altura média de 8,35 m, com uma sobrevivência de 58,3% e um DAP médio de 8,7 cm.

Sua madeira apresenta pouca durabilidade natural. É considerada uma planta ornamental e recomendada para recuperação de áreas degradadas. A aleluieira fornece boa deposição de folheto, dificultando o aparecimento de gramíneas invasoras, apresenta endomicorrizas, porém não se associa com *Rhizobium*.

3.4.2 *Senna macranthera* (D.C. ex Colladon) Irwin & Barneby

Utilizou-se a manduirana devido às características de crescimento (LORENZI, 1992) e por ter sido observado diversos indivíduos plantados com finalidade ornamental, tanto no litoral, como na região do 1º planalto do Paraná, os quais têm apresentado ampla folhagem e produção de flores. Não é uma espécie fixadora de N, conforme DAWSON (19??) a maioria das espécies da subfamília Caesalpinioidae não são noduladoras.

A descrição desta espécie baseou-se em LORENZI (1992).

Cassia macranthera (DC. ex Collad.), *Cassia speciosa* (Schrad.) são sinônimas botânicas. Popularmente é denominada manduirana, pau-fava, aleluia, cabo-verde, fedegoso, mamangá, ibixuna, tararaçu. A planta apresenta altura entre 6-8 m, com tronco de 20-30 cm de DAP. Suas folhas são compostas de 2 pares de folíolos opostos. Seu florescimento ocorre de dezembro a abril.

Sua ocorrência natural abrange desde o Ceará até São Paulo e Minas Gerais, na floresta semidecidual de altitude.

Sua madeira é leve, macia e de baixa durabilidade, sujeita ao apodrecimento quando em ambiente desfavorável. É empregada apenas para uso interno, caixotaria, brinquedos, lenha.

É uma espécie ornamental, pioneira, de rápido crescimento, podendo ser usada para recuperação de áreas degradadas. Trata-se de planta decídua no inverno ou semi-decídua, heliófita, indiferente às características físicas do solo, é muito freqüente em formações secundárias de regiões de altitudes e rara no interior de florestas primárias densas.

3.4.3 *Inga sessilis* Martius

Mimosa sessilis (Vellozo) é sua sinônima botânica. Vulgarmente é chamado de ingá-ferradura, ingá-macaco, ingá, angá, ingá-açu-amarelo, ingá-arqueado, ingá-peludo, ingá-graúdo, ingazeiro (CARVALHO, 1994). O nome comum "ingá" é corruela de y-igá, significa "embebido, ensopado, úmido", alusivo à polpa da semente (RIO GRANDE DO SUL apud CARVALHO, 1994).

Trata-se de uma árvore perenifolia, geralmente com 5 a 10 m de altura e 20 a 40 cm de DAP. Seu tronco geralmente é tortuoso, com fuste curto. Copa ampla e arredondada, densifoliada. Sua casca tem até 10 mm de espessura, externamente é

áspera, marrom acinzentada, com lenticelas abundantes. Suas folhas são compostas, com até 30 cm de comprimento, com 5 a 8 pares de folíolos, pecíolo alado com 2 cm de comprimento, folíolos ovais com até 12 cm de comprimento por 4 cm de largura, pubescentes em ambas as faces, ráquis alado. Suas flores são brancas, seus frutos são legumes tomentosos, comprimidos, retos ou curvos, de cor rubro-bronzeado, com margens espessadas, de 10 a 20 cm de comprimento por 2,5 a 3 cm de largura. Suas sementes são verde-escuras, envolvidas por polpa branca (CARVALHO, 1994).

As espécies de ingá são polinizadas principalmente por morcegos e, devido a observação de visitas de beija-flores, estes provavelmente também promovem a polinização. Sua floração ocorre de fevereiro a setembro, sendo de agosto a setembro no Paraná. Os frutos amadurecem de setembro a outubro, no Paraná. Em plantios, a floração e frutificação iniciam-se aos 5 anos. A dispersão das sementes é zoocórica, por pacus e macacos, e hidrocórica, por sua ocorrência junto a cursos d'água (CARVALHO, 1994).

O ingá ocorre nos Estados da Bahia (sul), Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina (leste) e São Paulo.

Trata-se de uma espécie secundária inicial, encontrada na planície, em fundo dos vales e início de encostas, quer em associação primária como secundária. É natural da Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), nas formações das Terras Baixas e Submontana, da Floresta Estacional Baixo-Montana, em Santa Maria - RS (TABARELLI, 1992 *apud* CARVALHO, 1994), dos Campos Rupestres situados entre 1000 e 1400 m de altitude, em Minas Gerais é menos freqüente na Floresta Estacional Semidecidual (CARVALHO, 1994).

Segundo CARVALHO (1994) é uma espécie heliófila, tolera sombra moderada, quando jovem, não é tolerante ao frio. Apresenta hábito de crescimento irregular, com ramificação pesada e sem dominância apical. Apresenta brotação após o corte, necessita de poda de condução e dos ramos. Ocorre em solos úmidos e profundos, de drenagem regular, sendo raro em solos enxutos. É uma espécie usada na arborização de culturas perenes, principalmente cafezais, e recomendada para arborização de pastos. Em plantios experimentais, tem crescido melhor em solos com elevada fertilidade química, bem drenados e com textura argilosa.

RODERJAN e KUNIYOSHI (1988) relatam a presença do *Inga sessilis* em ambientes da Floresta Ombrófila Densa das Planícies Aluviais, os quais ocorrem ao longo dos rios, entre vales e na planícies litorâneas, em solos enriquecidos com deposição de detritos orgânicos. Ocorre, também, na Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas ou das Planícies Quaternárias, em ambiente em que as espécies comumente são seletivas higrófilas. São encontrados ingazeiros no estrato intermediário da Floresta Ombrófila Densa Sub-Montana, cujo ambiente é bastante úmido e com espessa camada de serapilheira. Sua ocorrência ainda é registrada no estrato intermediário da Floresta Ombrófila Densa Montana, quando além das espécies seletivas higrófilas, ocorrem seletivas xerófilas, como influência da

vegetação alto-montana. No ambiente montano associado ao ingá-macaco aparece o ingá-feijão (*Inga marginata*) (RODERJAN; KUNIYOSHI, 1988).

Em um latossolo roxo distrófico, em Foz do Iguaçu - PR, com um espaçamento de 4x4 m, aos 3 anos de idade, as plantas apresentaram altura média de 3,23 m, DAP médio de 4,8 cm e sobrevivência de 93,7% CARVALHO (1994).

Em um latossolo roxo distrófico, em Santa Helena - PR, com um espaçamento de 4x4 m, aos 6 anos de idade, a altura média foi de 6,56 m, DAP médio 12,3 e sobrevivência de 78% CARVALHO (1994).

3.4.4 *Flemingia congesta* (Willd.) Prain ex Merr

A flemíngia foi selecionada por sua aptidão ao *alley cropping* e sua adaptação à região, observada em plantios, em caráter de produtor, porém em outros tipos de solo. Foi observado, inclusive, a produção de sementes e de mudas, durante todo o ano, o que indicaria fácil disponibilidade para o agricultor.

Não foi encontrada a descrição da *F. congesta* (Willd.) Prain ex Merr, o material bibliográfico disponível descreve a espécie *Flemingia macrophylla* (Willd.) Merr, e foi baseado em NAIR (1993).

Sua sinonímia é *F. congesta* Roxb. Ex Ait.f. Pertence à família Leguminosae – Papilionoideae. É uma espécie nativa do Sudeste da Ásia, introduzida em diversas regiões da África. É encontrada em altitudes baixas a médias, em sítios com 1000-2000 mm de precipitação anual, incluindo mais de 4 meses sem chuvas, em uma ampla variedade de solos.

A planta apresenta hábito arbustivo, alcançando até 3 m de altura, suas raízes são profundas, associa-se com microrganismos fixadores de N₂, é tolerante a sombreamento moderado, tem capacidade de rebrotar após podada, propaga-se por sementes ou mudas. Após seu estabelecimento (3-4 meses), a planta pode superar a competição com outras plantas, sendo necessário o controle de invasoras durante os 2 meses iniciais.

É usada, principalmente, como suporte para plantas trepadeiras, para o controle da erosão (em cordões de contorno), como corante e na medicina tradicional.

3.4.4 *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit cv. Cunningham

A escolha da leucena deveu-se à sua ampla dispersão, nos ambientes tropicais, e ao amplo material bibliográfico relacionado a esta espécie, o que permitiria a comparação dos resultados. A variedade selecionada não resultou de uma busca pela variedade mais adaptada à região, mas pela sua disponibilidade quando da produção

das mudas para o experimento. Isto significaria, também, facilidade de aquisição pelo agricultor, outro critério que se procurou manter no presente trabalho.

A descrição desta cultivar baseou-se em ORAM (1990).

A cultivar Cunningham derivou-se do cruzamento entre o cultivar Peru e a linhagem CPI 18228 introduzida através da cultivar Hawaii, em dezembro de 1953 e originária da Guatemala. As duas linhagens foram cruzadas em 1956-58, como parte do programa de seleção intervarietal, iniciado no Laboratório Cunningham, em Brisbane.

A principal característica da cultivar é sua folhagem verde mais escura que as outras variedades. Tanto esta cultivar como a El Salvador apresentam folíolos maiores que a cultivar Peru. Na cultivar Cunningham as sementes são comparativamente menores e mais escuras. Esta cultivar é mais alta que a Peru, com ramificação basal bem desenvolvida. Sua habilidade de produção de sementes compara-se, favoravelmente, com ambas as linhagens vendidas comercialmente - Peru e El Salvador.

Em experimentos em Lansdown e em Samford a cultivar Cunningham foi levemente menos vigorosa que a cv. Peru no ano de estabelecimento, porém após este período foi significativamente superior (ORAM, 1990). Em Lansdown em um solo "solodic", com precipitação anual de 850 mm, a produção de matéria seca desta cv. Cunningham foi maior que 7000 kg.ha⁻¹ (ORAM, 1990). Em Samford, em um solo aluvial, com precipitação anual de 1034 mm, a produção de matéria seca foi de 6000 kg.ha⁻¹.ano⁻¹.

O teor de mimosina é de 3-4%, similar à cv. Peru, mas inferior ao teor geralmente encontrado na cv. El Salvador. A composição química de suas folhas é similar àquela da cv. Peru.

Tal qual as outras cultivares de *Leucaena*, a cv. Cunningham nodula tanto com a estirpe de *Rhizobium* CB81 quanto com a NGR8.

3.5 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO E TRATOS CULTURAIS

As mudas foram produzidas no viveiro do Instituto Ambiental do Paraná, em Morretes.

Anteriormente ao plantio a área foi destocada e roçada.

Procurou-se minimizar a utilização de mão-de-obra e de insumos, tendo em vista que o componente arbóreo de um sistema agroflorestal não implica em lucro direto ao agricultor. Portanto, partiu-se do pressuposto de que tal agricultor relutará em acatar uma tecnologia que demande muitos recursos, tornando-se um fator complicador do seu sistema de produção. Considerou-se, ainda, que um dos fatores

limitantes da pequena produção é, justamente, a deficiência de mão-de-obra e de recursos financeiros.

Foram efetuadas 3 roçadas por ano, com roçadeira motorizada, sendo 2 no verão e 1 no inverno. Nas mesmas épocas foi realizado o coroamento das plantas avaliadas.

Além das capinas, devido à pouca disponibilidade de mão de obra para os tratos culturais no experimento, optou-se pelo controle químico, através do glyphosate 480 g L⁻¹, com uma dose equivalente a 3%. Esse produto foi aplicado em abril/96.

Para aplicação do produto, isolaram-se as plantas objetos do estudo com lona plástica, a montante e a jusante, aplicando o produto apenas entre as linhas.

Foram instaladas iscas para combate às formigas, as quais foram espalhadas na área em 5 recipientes apropriados, correspondendo a 4 l porta-iscas por hectare. As iscas, a base de 3 g.kg⁻¹ de sufluramida, foram mantidas durante todo o experimento.

Em 09/05/96 e em 31/10/96, efetuaram-se pulverizações com clorpirifós 480 BR, utilizando-se a doses equivalentes a 50 mL de produto para 20 L de água.

3.6 VARIÁVEIS AVALIADAS QUANTO AO COMPONENTE FLORESTAL

3.6.1 Sobrevivência

Para fins de avaliação da sobrevivência das espécies trabalhadas, em condições de produtor rural, contabilizou-se a mortalidade das leguminosas em 4 etapas (*vide* tabela 1 - anexos). A primeira, ocorrida 30 dias após o plantio das mudas no campo, quando foi realizado um replantio. A sobrevivência foi também contabilizada na primeira e na segunda poda, e em uma última avaliação em 16/08/98.

3.6.2 Altura

Antes de cada poda, mediu-se a altura das plantas com uma trena, a partir do solo até a gema apical.

3.6.3 Biomassa

Na 3ª semana de maio, de 1997, e na 2ª quinzena de dezembro, do mesmo ano, a parte aérea das espécies em estudo foi podada, a uma altura de 0,50 m do solo. Denominou-se biomassa o material podado.

A biomassa foi pesada no campo, imediatamente após a poda das plantas (ou seja, biomassa fresca), em balança Dayton-Hobart, com capacidade entre 0,10 até 15 kg. Foi também utilizada a balança Record, com capacidade de 0,1 g até 610 g.

Pesou-se a biomassa fresca total de cada planta e, a seguir, separaram-se as frações folhas, ramos finos (até 1 cm de diâmetro) e ramos grossos (acima de 1 cm de diâmetro), pesando-as separadamente. Após a pesagem da fração folhas, estas foram separadas de seus pecíolos e foi obtida a massa destes componentes, separadamente, para cada planta, a fim de determinar a participação relativa de cada um.

Para a determinação do teor de umidade, as plantas foram misturadas, mantendo-se as diversas frações separadas. Amostras aleatórias foram extraídas, pesadas, identificadas, lavadas em água corrente e levadas à estufa do Departamento de Solos da UFPR, a 60° C, até peso constante (em torno de 3 a 5 dias). Tais amostras foram levadas, então, ao Laboratório de Nutrição de Plantas, onde foram pesadas em balança quantitativa, da marca Mettler, modelo P1210, com precisão até 2 casas decimais. Através do teor de umidade, obteve-se a biomassa seca da parte aérea podada, para fins deste trabalho, denominada biomassa.

FIGURA 2. ASPECTO DE UMA ALÉIA DE MANDUIRANA APÓS A PODA DAS PLANTAS ÚTEIS.



3.6.4 Velocidade de decomposição da biomassa

Para a avaliação da velocidade de decomposição, foi utilizado o método das sacolas de decomposição (*litter bags*), confeccionadas em tela de nylon, com malha de 2 mm, medindo 30 X 30 cm.

Cada sacola foi preenchida com uma das espécies analisadas, utilizando-se o material recém-podado, ou seja, material fresco. Este, separado nas frações folhas, ramos finos e ramos grossos, foi pesado de acordo com o que segue:

- a) folhas + pecíolos + flores: 25 g;
- b) ramos finos (diâmetro até 1 cm): 50 g;
- c) ramos grossos (diâmetro acima de 1 cm): 50 g;

A massa seca variou de acordo com o teor de umidade de cada material.

As sacolas foram colocadas sobre a superfície do solo, aleatoriamente, em uma das parcelas onde foi plantada a espécie *L. leucocephala*, que, por seu deficiente crescimento, não seria capaz de influenciar significativamente a decomposição do material. Essa área foi previamente roçada. As sacolas foram fixadas ao solo com grampos de cerca, para evitar que as mesmas fossem espalhadas pelo vento. Foi elaborado um croqui com a disposição das sacolas, para evitar eventuais inconvenientes com sua posterior identificação. A cada época de coleta foram sorteadas 5 sacolas de cada espécie e de cada fração da planta, ou seja, 5 repetições de cada tratamento. No inverno, a instalação do experimento deu-se em 23/05/97 e no verão, em 30/12/97.

O período de decomposição variou de acordo com a fração de material:

- folhas e ramos finos: 55 e 90 dias;
- ramos grossos: 90 e 120 dias;

FIGURA 3. ASPECTOS DA DISPOSIÇÃO NA SUPERFÍCIE DO SOLO DAS SACOLAS DE DECOMPOSIÇÃO AOS 120 DIAS DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO.



O material coletado foi levado à estufa do Departamento de Solos da UFPR, a 60° C, até peso constante (aproximadamente 3 dias). O material seco foi moído em liquidificador e em moinho tipo Wiley, com peneira com malha de 0,5 mm. A pesagem foi efetuada no Laboratório de Nutrição de Plantas da UFPR, em balança quantitativa, da marca Mettler, modelo P1210, com precisão até 2 casas decimais.

O material trazido do campo apresentava contaminação de partículas de solo, pequenos animais, fungos e outras plantas que, inevitavelmente, penetram nas sacolas através de suas malhas, podendo mascarar os resultados, tanto das análises químicas como da perda de peso. Portanto, anteriormente à pesagem foi realizada, cuidadosamente, a sua limpeza com o auxílio de um pincel, não se efetuou a lavagem deste material, a fim de evitar uma falsa lixiviação.

FIGURA 4. ASPECTOS DAS FOLHAS DA ALELUIEIRA E DA MANDUIRANA AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO.

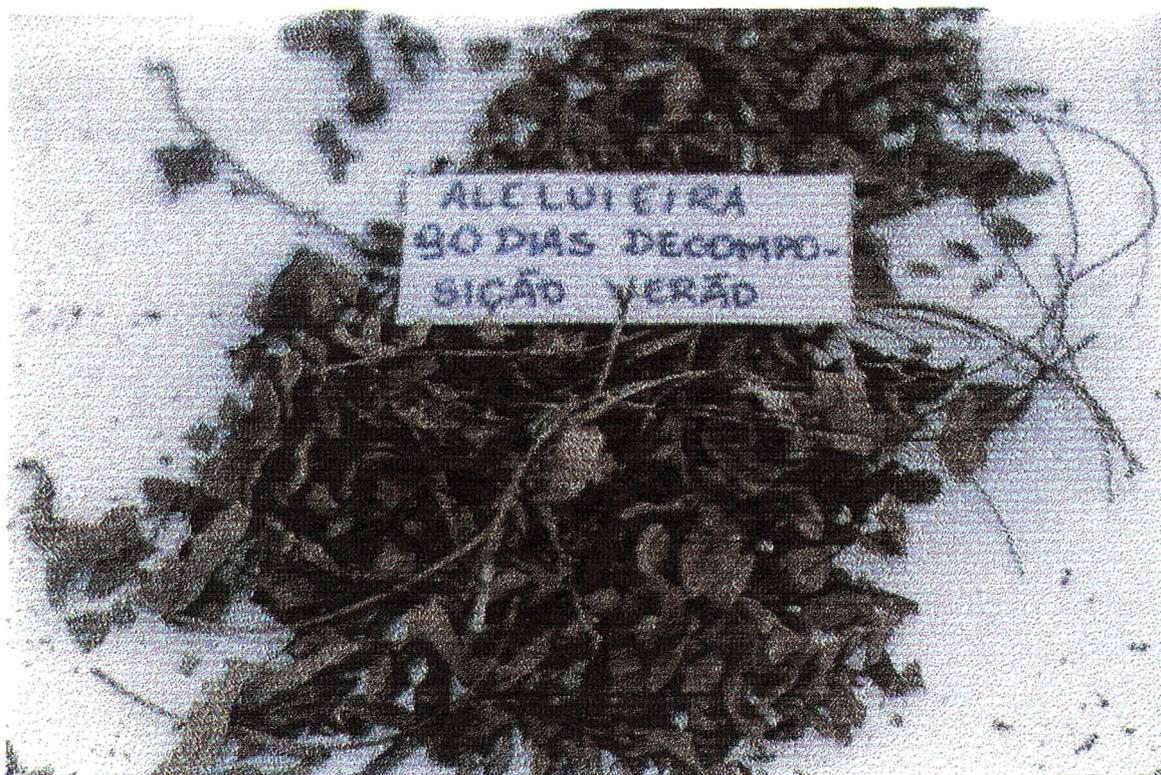
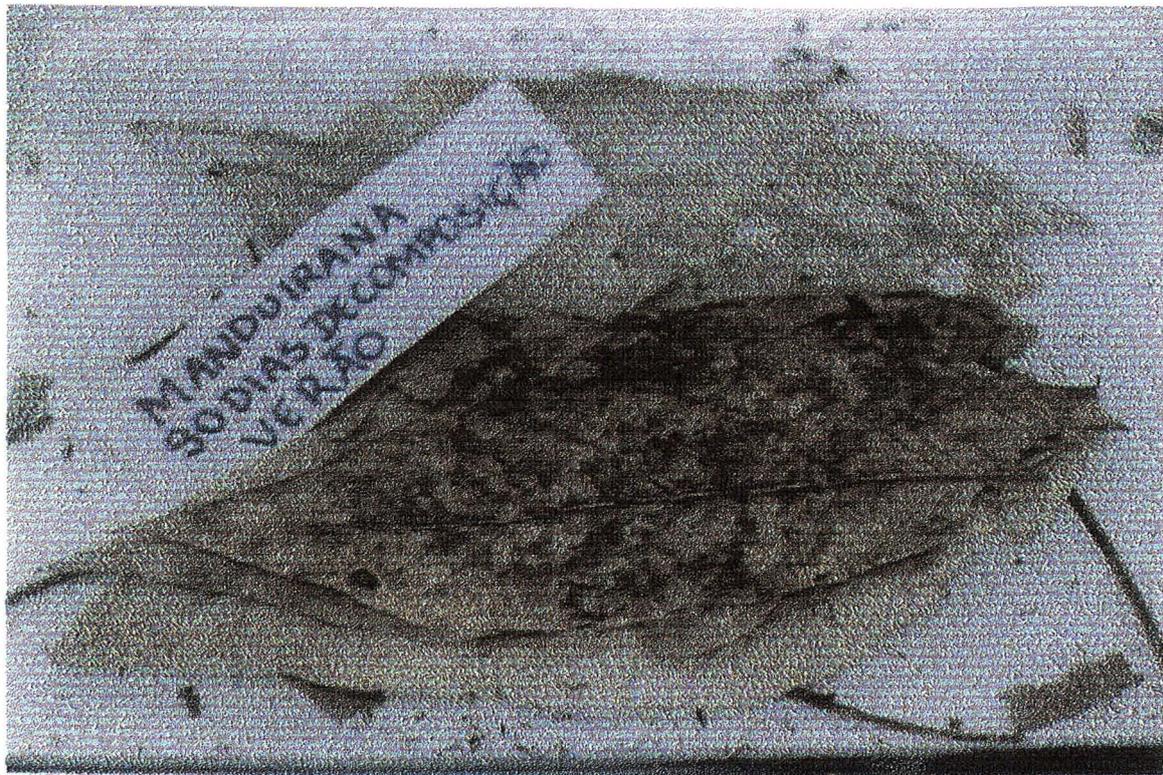


FIGURA 5. ASPECTOS DAS FOLHAS DA FLEMÍNGEA E DO INGÁ AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO.



FIGURA 5. ASPECTOS DOS RAMOS FINOS DA ALELUIEIRA E DA MANDUIRANA AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO.



FIGURA 7. ASPECTOS DOS RAMOS GROSSOS DA MANDUIRANA E DA FLEMÍNGIA AOS 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO NO VERÃO.



FLEMINGEA
RAMO GROSSO
DECOMPOSIÇÃO: 90 d.



3.6.5 Análises dos tecidos vegetais (C, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn,)

Estas análises foram efetuadas na biomassa recém-podada e na biomassa coletada após os períodos de decomposição.

A análise do carbono dos tecidos vegetais foi realizada pelo método Walkley-Black, modificado por TEDESCO *et al.* (1995).

A análise do N dos tecidos vegetais foi determinada no Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas da EMBRAPA- CNPF, de acordo com a metodologia utilizada rotineiramente por aquele laboratório. Determinou-se o N pelo método de Kjeldahl, através de digestão com H_2SO_4 (ácido sulfúrico) concentrado, na presença de $CuSO_4$ (sulfato de cobre) e H_2O_2 (peróxido de hidrogênio), como catalisadores da reação. Procedeu-se a destilação com $NaOH$ 1 N (hidróxido de sódio), transferindo diretamente a amônia extraída para uma solução com ácido bórico e os indicadores verde de bromocresol 0,1% e vermelho de metila 0,1%. A titulação foi realizada com H_2SO_4 0,05 N (SARRUGE; HAAG, 1974).

O teor de fósforo foi determinado pelo método colorimétrico com $(NH_4)_2Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ (molibdato de amônia) - cor amarela (HILDEBRAND, 1976-77).

Os teores de potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, cobre e zinco foram determinados através de digestão via seca (mufla a $500^\circ C$ + solução de HCl 10%) e leitura através de absorção atômica no aparelho Perkin Elmer AAS 403 (HILDEBRAND, 1976-77).

3.7 LIGNINA

Com a análise dos teores iniciais de lignina (anexo 10) buscava-se apenas um indicativo, com a finalidade de nortear a compreensão dos fatores envolvidos no processo de decomposição das espécies estudadas. Não foram feitas repetições, nem análise estatística dos resultados, tampouco foi possível a obtenção de correlações entre a lignina e os demais parâmetros analisados. O material foi enviado ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) - Polo Ibiporã, onde foi analisado conforme GOERING e VAN SOEST (1970).

Vale esclarecer que as amostras foram compostas por material das 3 repetições utilizadas para a análise dos teores iniciais dos macro e micronutrientes. Ressalta-se, ainda, que os teores iniciais dos nutrientes mostraram poucas variações entre as repetições, sugerindo a homogeneidade das amostras, portanto, confiabilidade nos resultados de lignina.

3.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

3.8.1 Biomassa

O delineamento adotado foi o de blocos casualizados, a fim de minimizar influências externas, devidas ao meio, utilizaram-se cinco repetições, ou seja, 5 blocos, onde foram plantadas as mudas das espécies em estudo. Cada parcela, representada pela leguminosa em análise, foi constituída de 3 linhas de 8 plantas, com espaçamento de 4 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. A área de cada parcela apresentou 48 m², totalizando 240 m² por bloco e 1200 m² no experimento completo. Consideraram-se as seis plantas centrais como úteis e as demais, bordaduras. Para a análise estatística utilizou-se o Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Utilizou-se o programa STATISTICA FOR WINDOWS 4.2 e o cálculo manual, através da fórmula do Teste de Tukey, para a comparação das médias, de modo a avaliar separadamente os tratamentos, entre si e entre a 1^a poda e a 2^a.

Fórmula do Teste de Tukey (BANZATTO; KRONKA, 1992):

$$\Delta = q \frac{s}{r^{0,5}}$$

onde:

Δ = diferença mínima significativa

q = amplitude total estudentizada

s = desvio padrão do erro

r = número de repetições das médias confrontadas no contraste.

3.8.1 Decomposição da biomassa

Os resultados foram analisados pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, através do programa STATISTICA FOR WINDOWS 4.2. Aplicou-se o delineamento inteiramente casualizado, considerando-se 4 espécies, com 5 repetições e as diversas variáveis (11 componentes avaliados – variáveis dependentes, em 3 períodos de decomposição, em duas épocas do ano, para cada uma das 3 frações da planta – folhas, ramos finos, ramos grossos).

Análises de correlação (Anexos 14 a 18) foram feitas também através do programa STATISTICA FOR WINDOWS 4.2, utilizando-se o sub-programa de análise de regressão linear (regressão múltipla), considerando-se todas as variáveis e dados encontrados, conforme objetivo de cada análise.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISES QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO

O solo foi classificado como cambissolo profundo, álico, com A moderado, textura média, no horizonte A e argilosa, no horizonte B, porém, sem transição textural abrupta (LEPSCH, 1983), relevo forte ondulado, forma da encosta convexa-divergente, com baixa saturação de bases, apresentando, como substrato, os migmatitos.

Os resultados da análise química do solo para macronutrientes (Tabela 1) demonstraram que se trata de um solo com moderada capacidade de troca catiônica (CTC), de acordo com MELLO *et al.* (1984), porém, classificada por OLEYNIK *et al.* (1998) como alta. Para MELLO *et al.* (1984) e OLEYNIK *et al.* (1998), baixo valor S (soma de bases). O valor V (saturação de bases) foi considerado baixo, de acordo com MELLO *et al.* (1984) e muito baixo, por OLEYNIK *et al.* (1998). O solo apresenta elevado valor m, maior que 50%, nos horizontes A e B, enquadrando-se no grupo dos solos álicos. Outro indicador importante desse solo é a acidez, considerada muito alta, caracterizada pelo baixo valor do pH (OLEYNIK *et al.*, 1998). Percebe-se, também, uma elevada acidez potencial, pelos valores conjugados de hidrogênio e alumínio (MELLO *et al.*, 1984). Segundo MELLO *et al.* (1984), ocorrem baixos valores nos teores de N, P disponível, K^+ , Ca^{2+} e médios teores de Mg^{2+} . Porém, OLEYNIK *et al.* (1998) consideram os teores de K^+ como médios, de Mg^{2+} , como altos, de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ como baixos e de Al^{3+} como altos, concordando com MELLO *et al.* (1984) quanto aos teores de P disponível e de Ca^{2+} .

Os níveis de C orgânico são considerados como alto para o horizonte A e baixo para o horizonte B (OLEYNIK *et al.*, 1998).

São altos os níveis de micronutrientes (Tabela 1) conforme interpretação de OLEYNIK *et al.* (1998). Ressalta-se que, principalmente, os teores do ferro e do manganês encontrados estão bem acima do que OLEYNIK *et al.* (1998) classificaram como altos, já que para estes autores, os níveis de Fe são altos quando acima de 30 mg.dm^{-3} e acima de $5,0 \text{ mg.dm}^{-3}$ para o Mn. Este é um comportamento esperado, devido ao baixo pH (SÁNCHEZ, 1981; FASSBENDER, 1982; MELLO *et al.*, 1984; TISDALE, 1993).

A análise textural dos horizontes A e B demonstrou tratar-se de um solo com textura média sem transição abrupta entre as texturas dos horizontes A e B (LEPSCH, 1983).

TABELA 1 - ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO - VALORES MÉDIOS DOS HORIZONTES "A" E "B".

| | pH (CaCl ₂) | Al | H ⁺ Al | Ca | Mg | K | P | C | N | S | T | V | m | Fe | Mn | Cu | Zn |
|-----------|----------------------------|------|-----------------------|------|------|---------------------|---|--------------------|--------------------|------|-----------------------|------|------|-------|---------------------|-----|-----|
| | | | mmol.dm ⁻³ | | | mg.dm ⁻³ | | g.dm ⁻³ | g.kg ⁻¹ | | mmol.dm ⁻³ | | % | | mg.kg ⁻¹ | | |
| hor. A | 4,1 | 2,02 | 8,8 | 0,96 | 0,74 | 0,20 | 3 | 25,4 | 2,3 | 1,88 | 10,6 | 17,6 | 51,9 | 148,6 | 16,6 | 2,5 | 1,2 |
| hor. B | 4,1 | 2,84 | 9,2 | 0,32 | 0,20 | 0,02 | 0 | 6,8 | 1,04 | 0,54 | 9,8 | 5,6 | 83,9 | 80,0 | 6,17 | 2,9 | 1,5 |

TABELA 2 - ANÁLISE TEXTURAL DO SOLO - VALORES MÉDIOS DOS HORIZONTES "A" E "B" (%).

| | argila | silte | areia |
|-------------|--------|-------|-------|
| | % | | |
| horizonte A | 34,9 | 24,7 | 40,4 |
| horizonte B | 46,8 | 21,6 | 31,6 |

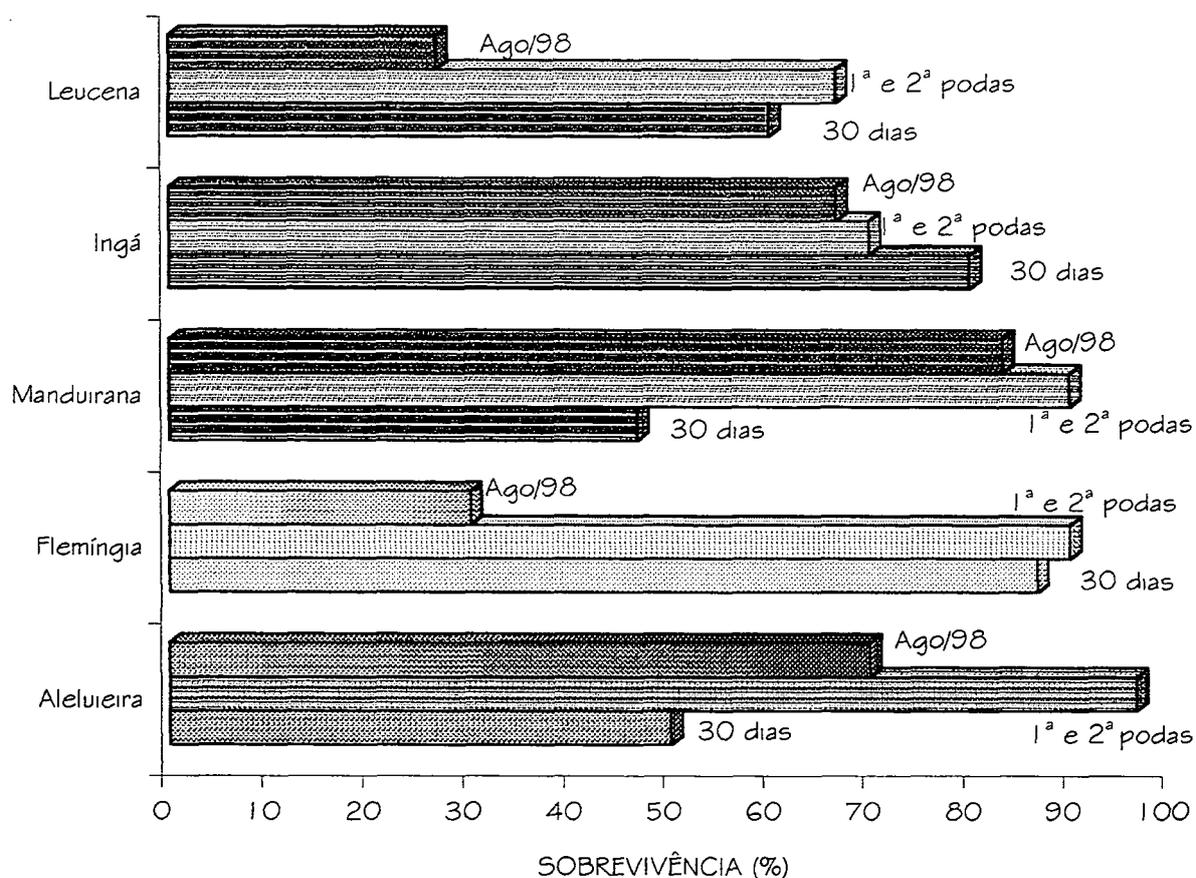
4.2 SOBREVIVÊNCIA E ALTURA

Com relação à sobrevivência, constata-se que apesar da elevada mortalidade da aleluieira, aos 30 dias de seu plantio, a mesma foi a única a apresentar uma taxa de sobrevivência superior a 90%, no período que se seguiu até a segunda poda (Figura 8, Anexo 1).

Ressalta-se que, entre a primeira e a segunda poda, não houve alterações na porcentagem de sobrevivência, ou seja, todas as plantas que obtiveram altura e biomassa para serem podadas em maio/97, sobreviveram até a segunda poda (dez/97), tendo rebrotado já aos 30 dias após a 1ª poda.

Na última avaliação (ago/98), as espécies apresentaram taxas de sobrevivência variadas, nenhuma atingindo 100%. As taxas de sobrevivência mais baixas foram encontradas para a leucena e para a flemíngia. A mandurana mostrou a maior taxa de sobrevivência (ainda que inferior a 90%), seguida pela aleluieira, porém com uma diferença de 13,3 pontos percentuais.

FIGURA 8. SOBREVIVÊNCIA DE 5 LEGUMINOSAS LENHOSAS AO LONGO DE 29 MESES (%).

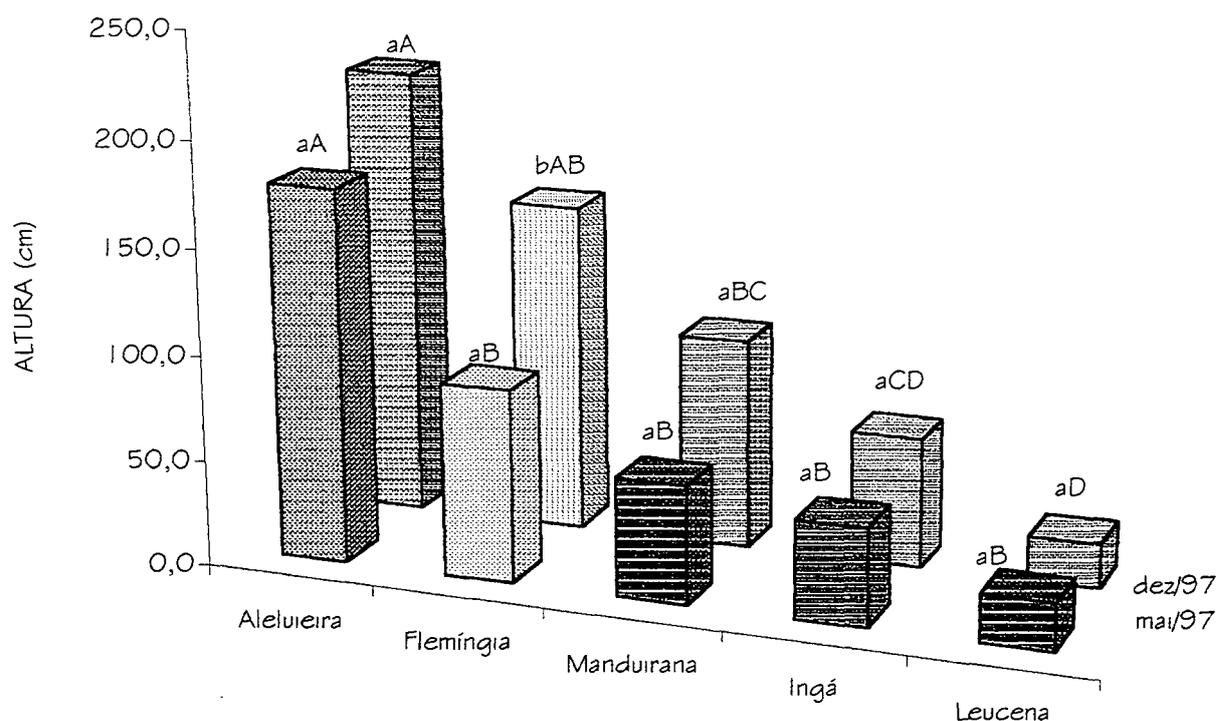


No tocante à altura atingida pelas espécies, percebe-se a superioridade da aleluieira, em ambas as estações do ano analisadas. Na 1ª poda, a aleluieira foi significativamente mais alta que as demais espécies, as quais não diferiram entre si (Figura 9, Anexo 2).

Na 2ª poda, a flemíngia equiparou-se à aleluieira e à manduirana, estatisticamente. A manduirana equiparou-se, ainda, ao ingá, o qual, por sua vez também não mostrou diferença significativa em relação à leucena.

À exceção da flemíngia, as demais leguminosas não demonstraram diferenças significativas quando se confrontaram os resultados das duas podas.

FIGURA 9. ALTURA DE 5 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM DUAS PODAS ANUAIS - MAIO/97 E DEZ/97- (cm).



4.3 BIOMASSA

Reitera-se que o termo biomassa no presente trabalho refere-se à matéria seca da parte aérea podada, os teores de umidade podem ser verificados no Anexo 3 e os valores correspondentes à biomassa no Anexo 4. A Figura 10 ilustra a biomassa produzida pelas leguminosas analisadas.

A leucena não teve sua biomassa avaliada devido ao seu baixo crescimento, não tendo atingido a altura de poda (50 cm), devido, principalmente, à maior suscetibilidade ao ataque de formigas e às condições de baixa fertilidade do solo.

4.3.1 Biomassa total

Tanto na 1ª poda, quanto na 2ª, a aleluieira produziu quantidades significativamente superiores de biomassa, comparadas às demais espécies analisadas, cujas produções não revelaram diferenças entre si. A superioridade da aleluieira (*S. multijuga*) em ambas as podas, caracteriza sua adaptação às condições de clima, solo e luminosidade locais.

Não houve diferenças significativas referentes à 1ª e à 2ª poda, para uma mesma espécie.

4.3.2 Biomassa foliar

Observa-se que a aleluieira destacou-se com uma produção foliar estatisticamente mais elevada que as demais espécies estudadas, em ambas as podas. Não houve, novamente, diferenças entre as demais espécies, bem como, não houve diferenças, entre as duas podas na produção foliar de cada espécie analisada.

4.3.3 Biomassa dos ramos finos (< 1,0 cm)

Na 1ª poda não ocorreram diferenças estatísticas entre a flemíngia, a manduirana e o ingá. Já a aleluieira apresentou a maior biomassa de ramos finos entre as leguminosas estudadas.

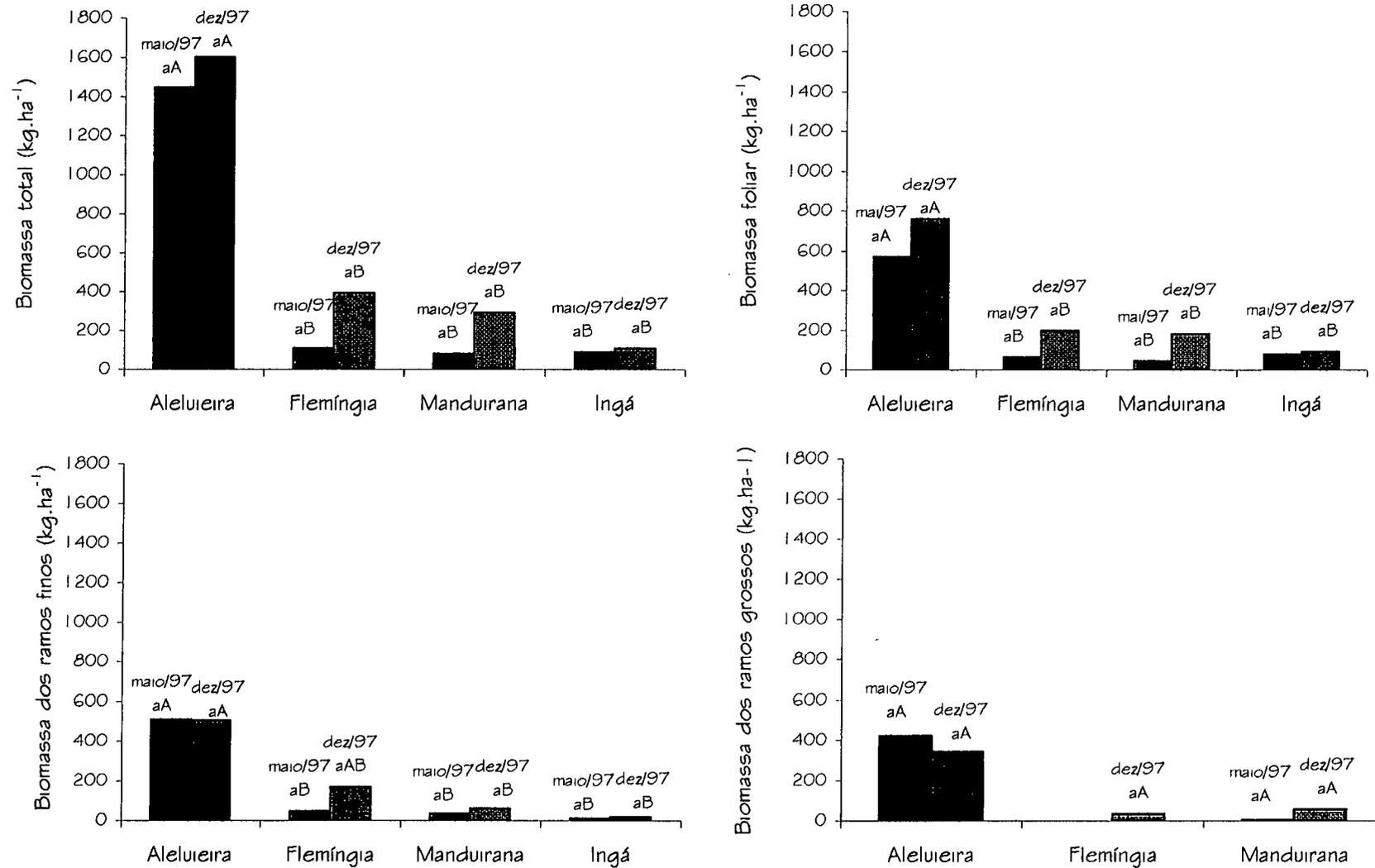
Na 2ª poda, mesmo mantendo sua equivalência estatística em relação à manduirana e ao ingá, a produção da flemíngia também não diferiu daquela obtida pela aleluieira.

Não se constataram diferenças significativas, para uma mesma espécie, quando se compararam as duas podas realizadas.

4.3.4 Biomassa dos ramos grossos ($\geq 1,0$ cm)

Não se verificaram diferenças estatísticas entre as espécies, tampouco entre as duas épocas em que foram efetuadas as podas neste trabalho.

FIGURA 10. BIOMASSA DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM 2 PODAS ANUAIS.



Obs: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, no componente avaliado. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

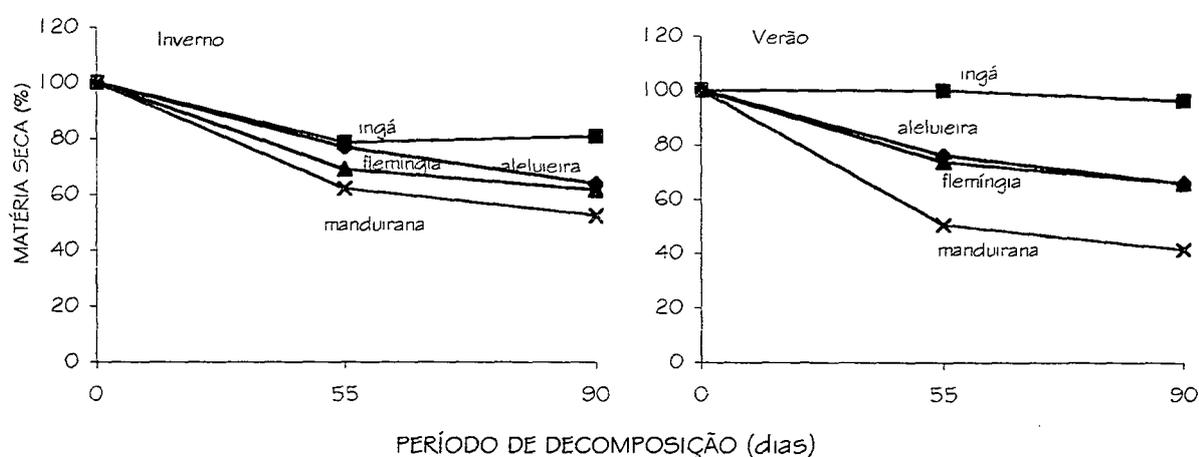
4.4 DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA

4.4.1 Perda de matéria seca

4.4.1.1 Tecidos foliares

Os resultados da decomposição de folhas até 55 e 90 dias, em sacolas de nylon deixadas sobre a superfície do solo, encontram-se no Anexo 5 e estão representados na Figura 11. Observa-se que a manduirana destacou-se pela maior velocidade de decomposição, no inverno e no verão, sendo significativamente mais rápida na segunda estação. A decomposição das folhas de manduirana foi significativamente maior no verão. Já o ingá, apresentou decomposição significativamente mais lenta no verão. O ingá exibiu a menor velocidade de decomposição, em ambas as épocas analisadas.

FIGURA 11. PERDA DE MATÉRIA SECA ATRAVÉS DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



4.4.1.2 Ramos finos (< 1,0 cm)

A análise das perdas de matéria seca dos ramos finos, no inverno revelou o seguinte (Anexo 6):

* manduirana > aleluieira = ingá = flemíngia.

No verão, o comportamento foi diverso:

* manduirana > aleluieira e ingá;

* manduirana = flemíngia;

* flemíngia > ingá;

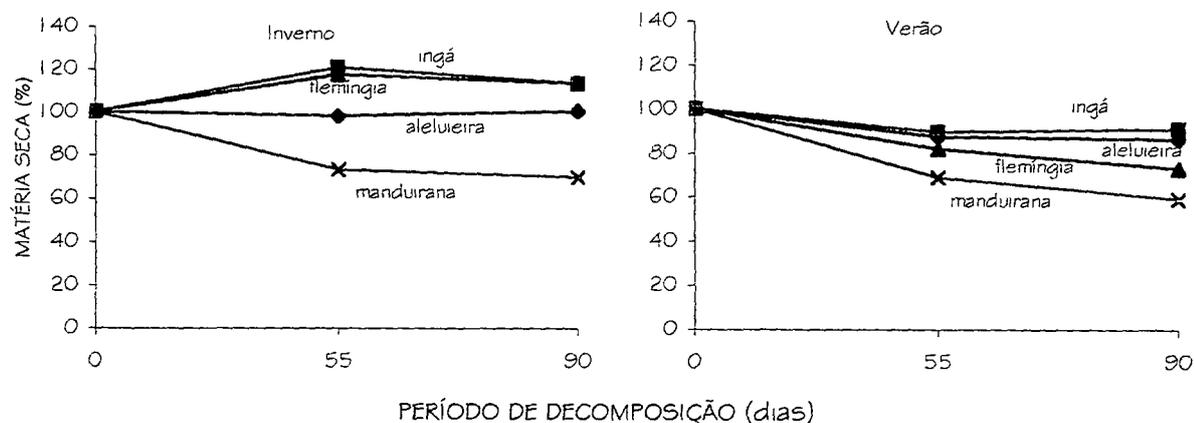
* flemíngia = aleluieira;

* aleluieira=ingá.

Entre as épocas, somente o ingá e flemíngia diferiram, ambos com maiores percentuais de liberação no verão.

A Figura 12 mostra graficamente a perda de massa seca dos ramos finos das espécies em estudo.

FIGURA 12. PERDA DE MATÉRIA SECA ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



4.4. 1.3 Ramos grossos ($\geq 1,0$ cm)

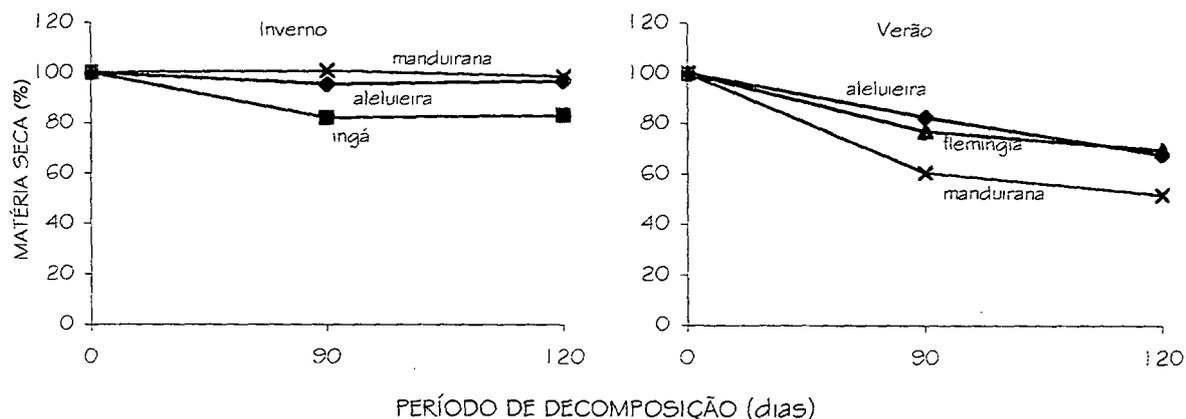
A flemíngia não apresentou ramos grossos no inverno, bem como, o ingá não apresentou tais ramos no verão.

De forma resumida, a perda de matéria seca dos ramos grossos pode ser descrita da seguinte forma (Anexo 7):

- * no inverno – ingá > aleluieira = manduirana;
- * no verão – manduirana > aleluieira = flemíngia;
- * para a aleluieira e a manduirana - verão > inverno.

O processo de decomposição analisado pode ser visualizado, graficamente, através da Figura 13.

FIGURA 13. PERDA DE MATÉRIA SECA ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



4.4.2 Teores iniciais de carbono e nutrientes e sua variação ao longo da decomposição

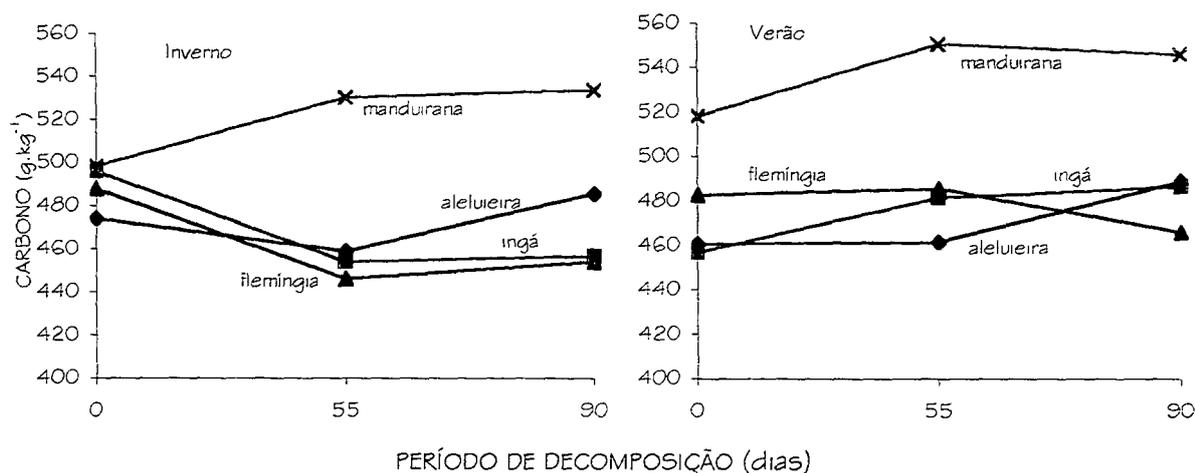
4.4.2.1 Carbono

No inverno, não houve diferenças significativas entre as espécies para os teores iniciais de carbono foliar (Anexo 9). Ao longo da decomposição das folhas, no entanto, a manduirana passou a diferenciar-se das demais espécies, pois teve seus teores aumentados. Por outro lado, o ingá e a flemingia tiveram redução em suas concentrações, nos dois períodos analisados (55 e 90 dias). A aleluieira, num primeiro momento, mostrou uma diminuição em relação ao seu teor inicial e após, aos 90 dias, tendeu a demonstrar um aumento na concentração do elemento em pauta (Figura 14).

No verão, as folhas da manduirana diferenciaram-se das demais espécies, sempre com valores superiores, desde sua concentração inicial até o final do período analisado. Não houve, contudo, diferenças quanto a seu comportamento no inverno. O ingá, por sua vez, denotou diferenças nos seus teores iniciais entre o inverno e verão.

Aos 90 dias, observou-se que a concentração da flemingia, no verão, tendeu a baixar com relação a seu valor inicial. As demais espécies revelaram tendências a aumentos em seus teores de carbono, ao longo do processo de degradação de seus tecidos foliares.

FIGURA 14. VARIACÃO NA CONCENTRAÇÃO DO CARBONO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (g.kg^{-1}).



A Tabela 3 denota pequena variação ocorrida entre as espécies analisadas, nos níveis do carbono dos ramos finos, tanto no inverno, como no verão. Percebe-se que houve apenas um valor capaz de provocar diferenças estatísticas entre as espécies analisadas, o qual foi o referente ao teor inicial de carbono da flemíngia, no verão. Não se constatarem diferenças significativas entre os valores do inverno e do verão para uma mesma espécie.

Tabela 3. Concentração de carbono presente nos ramos finos (<1,0 cm) de 4 leguminosas lenhosas aos 0, 55 e 90 dias de decomposição (g.kg^{-1}).

| | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | 450,3aA | 467,9aA | 445,3aA | 443,4aA | 467,1aA | 480,7bA |
| Ingá | 451,7aA | 474,1aA | 453,2aA | 449,7aA | 473,4aA | 473,2aA |
| Flemíngia | 460,0aA | 452,8aA | 473,2aA | 487,4aB | 470,6aA | 453,1aA |
| Manduirana | 454,2aA | 480,4aA | 468,6aA | 476,4aA | 463,0aA | 476,3aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para os ramos grossos também ocorreu pouca variação dos teores de carbono entre as espécies analisadas (Tabela 4). Ao longo da decomposição, há uma tendência de imobilização do C, em todas as espécies e épocas. No inverno, o ingá apresentou a maior concentração de C inicial e ao longo do período de degradação, enquanto a aleluieira apresentou a menor concentração inicial e durante o período de decomposição.

TABELA 4. CONCENTRAÇÃO DE CARBONO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS (≥ 1 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($g \cdot kg^{-1}$).

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | 436,7aA | 475,6aA | 464,6aA | 459,6bA | 477,5aA | 484,7aA |
| Injá | 469,4B | 499,2B | 496,9B | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 458,3A | 470,9A | 470,0A |
| Manduirana | 450,6aA | 489,2aAB | 494,7aB | 468,6aA | 484,1aA | 475,9aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2.2 Nitrogênio

A comparação entre os teores iniciais de N nos tecidos foliares das leguminosas analisadas pode ser resumida da seguinte forma (Anexo 9):

- * no inverno – flemíngia > injá = manduirana > aleluieira;
- * no verão – injá > flemíngia = aleluieira = manduirana;
- * para o injá e a aleluieira – verão > inverno.

No inverno, à exceção do injá, houve acúmulo de nitrogênio nos tecidos foliares, durante o processo de decomposição.

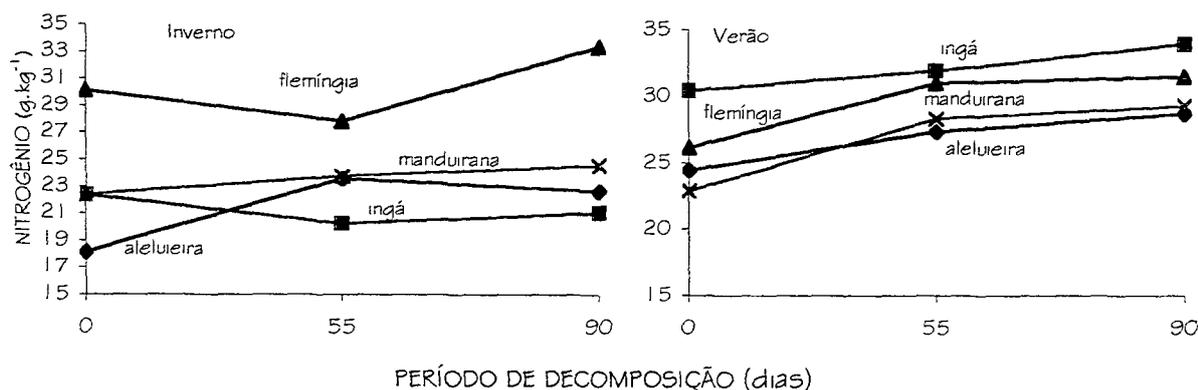
Percebe-se, ainda, que o acúmulo foi significativamente maior no verão, do que no inverno, para a aleluieira, o injá e a manduirana.

Aos 90 dias a flemíngia apresentou um teor de N superior às demais espécies.

No verão, o injá manteve-se diferenciado, com relação às demais espécies na avaliação efetuada aos 55 dias de decomposição. Aos 90 dias, a flemíngia deixou de mostrar diferença estatística em relação ao injá, ao mesmo tempo, também revelou não se diferenciar das demais espécies.

A Figura 15 ilustra as oscilações na concentração do N foliar.

FIGURA 15. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO NITROGÊNIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



Os dados da Tabela 5 demonstram, quanto aos teores iniciais de N nos ramos finos, que:

- * no inverno – manduirana > aleluieira, aleluieira = ingá = flemíngia e manduirana = ingá = flemíngia;
- * no verão – ingá > flemíngia = aleluieira, manduirana = flemíngia = aleluieira e ingá = manduirana;
- * para uma mesma espécie – verão = inverno.

TABELA 5. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg⁻¹).

| | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|---------|----------|---------|---------|----------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | 7,68aA | 5,12aA | 5,17aA | 5,38aA | 6,43aA | 6,77aA |
| Ingá | 8,82aAB | 13,07aB | 14,7aB | 12,37aB | 16,38aB | 14,82aB |
| Flemíngia | 9,07aAB | 10,50aB | 11,06aBC | 7,54aA | 9,12aA | 11,52aBC |
| Manduirana | 12,39aB | 11,95aB | 9,96aC | 9,19aAB | 9,15aA | 9,97aAC |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No inverno, durante o processo de decomposição, a aleluieira manteve a mais baixa concentração de nitrogênio, nos ramos finos, diferindo das demais leguminosas. Aos 55 dias, o ingá, a flemíngia e a manduirana não diferiram entre si, tal qual seus teores iniciais. Aos 90 dias, a manduirana equiparou-se estatisticamente à flemíngia, diferindo das demais leguminosas.

No verão, o processo de decomposição ocorrido, até os 55 dias, promoveu uma diferenciação entre o ingá e as demais espécies, as quais, novamente, não se diferenciaram estatisticamente. Aos 90 dias, o ingá manteve um teor mais elevado em

relação às demais espécies, sem diferir, contudo, da flemíngia. Esta por sua vez, não revelou diferenças com relação à manduirana, a qual equiparou-se à aleluieira.

No inverno, a Tabela 6 mostra que a concentração inicial de N nos ramos grossos variou na seguinte ordem: manduirana>ingá>aleluieira. No verão, não se verificaram diferenças significativas entre as espécies quanto a seus teores iniciais. Enquanto no inverno, percebeu-se uma tendência à liberação de N, no verão, registrou-se uma tendência à imobilização de N no material em decomposição, sendo esta maior na manduirana.

TABELA 6. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($g \cdot kg^{-1}$).

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | 5,9aA | 4,2aA | 3,4aA | 4,1aA | 4,5aA | 5,4aA |
| Ingá | 8,8B | 8,2B | 8,0B | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 4,4A | 5,3A | 5,4A |
| Manduirana | 12,2aC | 6,6aB | 6,8aB | 4,6bA | 7,9aB | 8,2aB |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2.3 Fósforo

Quanto aos teores foliares iniciais, pode-se concluir (Anexo 9):

* no inverno - flemíngia >ingá, aleluieira e manduirana;

aleluieira >manduirana e aleluieira =ingá;

ingá =manduirana

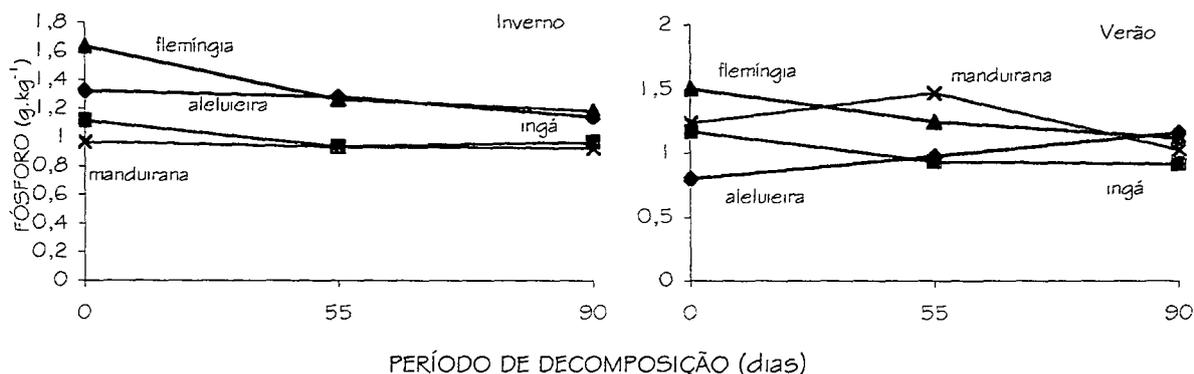
* no verão - flemíngia >ingá e aleluieira e flemíngia =manduirana;

manduirana =ingá >aleluieira.

Entre as épocas, no verão, a aleluieira apresentou um teor menor que aquele do inverno;

A Figura 16 ilustra o a variação na concentração de P, ao longo da decomposição dos tecidos foliares.

FIGURA 16. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO FÓSFORO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS.



A Tabela 7 mostra que os teores iniciais de P nos ramos finos, no inverno, não variaram significativamente, entre as diversas leguminosas. Não obstante, no verão, houve variações significativas, obedecendo a seguinte ordem: flemíngia > ingá > manduirana = aleluieira. As espécies analisadas revelaram diferenças entre seus teores, no inverno e no verão, a exceção do ingá. Tais diferenças variaram para teores maiores, como no caso da flemíngia, bem como para reduções em suas concentrações, como nos casos da aleluieira e da manduirana.

TABELA 7. CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg⁻¹).

| | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | 0,56aA | 0,31aA | 0,32aA | 0,08bA | 0,30aA | 0,29aA |
| Ingá | 0,66aA | 0,53aAB | 0,54aA | 0,86aB | 0,48aA | 0,44aA |
| Flemíngia | 0,62aA | 0,63aB | 0,54aA | 1,14bC | 0,48aA | 0,50aA |
| Manduirana | 0,59aA | 0,63aB | 0,40aA | 0,18bA | 0,40aA | 0,44aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Durante a decomposição ocorrida no inverno, percebe-se uma tendência à queda na concentração do P dos ramos finos, no material remanescente. Nos primeiros 55 dias, os teores, inicialmente equiparados estatisticamente, diferenciaram-se, de modo que a aleluieira foi inferior à flemíngia e à manduirana. O ingá, em uma posição intermediária, não diferiu de nenhuma das espécies trabalhadas. Tal como no tempo 0, ao fim dos 90 dias de decomposição, o material remanescente não acusou diferenças significativas entre si.

No verão, as espécies não exibiram diferenças entre os seus níveis de P remanescentes nos ramos finos.

A Tabela 8 revela que não houve diferenças estatísticas entre os teores iniciais de P, entre as espécies, no inverno. Percebe-se uma tendência de liberação de P pelos tecidos foliares da aleluieira, ao longo do processo de decomposição, no inverno, enquanto o oposto é observado com as folhas da manduirana. No verão, a manduirana apresentou uma concentração similar àquela do inverno, porém, para as outras duas espécies, que puderam ser avaliadas, a análise não detectou fósforo no material. Assim, enquanto a manduirana mostrou liberação de P, durante a degradação dos ramos grossos, no verão, as demais espécies mostraram um acúmulo deste nutriente, percebido pela presença de fósforo nas amostras analisadas aos 90 e aos 120 dias.

TABELA 8. CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS ($\geq 1,0$ cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($g.kg^{-1}$).

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | 0,50aA | 0,07aA | 0aA | 0 bA | 0,24bAB | 0,27bA |
| Injá | 0,52A | 0,52B | 0,46B | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 0A | 0,2 A | 0,23A |
| Manduirana | 0,52aA | 0,62aB | 0,61aB | 0,54aB | 0,40bB | 0,39bA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2.4 Potássio

O Teste de Tukey mostrou que, no inverno, a concentração inicial de K foliar na aleluieira diferiu das demais espécies, por seu valor inferior (Anexo 9). Diversamente, no verão, a aleluieira apresentou um teor superior a seu valor no inverno, apresentando um teor intermediário entre o injá e a flemíngia, com teores ligeiramente inferiores e a manduirana, com um teor ligeiramente superior. O injá apresentou um valor inferior àquele encontrado no inverno.

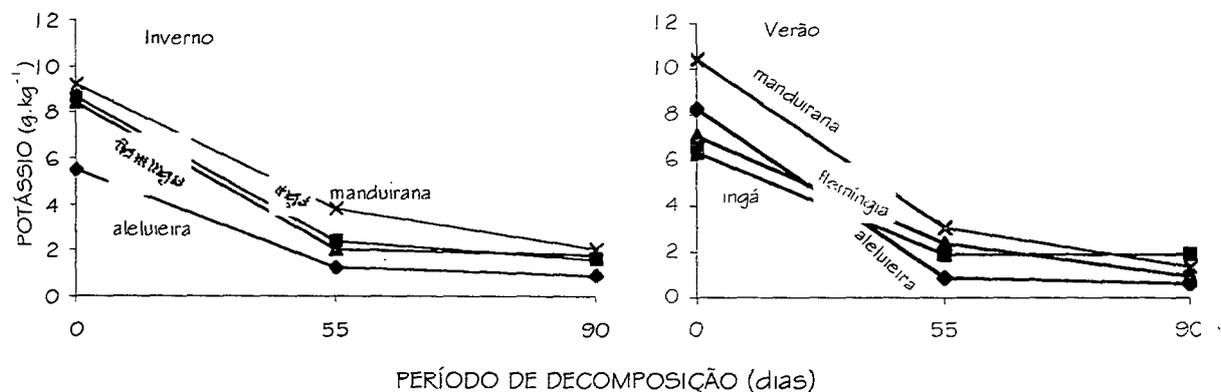
Aos 55 dias de decomposição, no inverno, restou na aleluieira uma concentração de potássio equivalente a 22% da inicial, no injá este percentual foi de 27%, na flemíngia, 24% e na manduirana, 41%. Aos 90 dias, na mesma época, as concentrações encontradas nos tecidos remanescentes foram equivalentes a 17%, 18%, 21% e 22% daqueles teores iniciais, para a aleluieira, injá, flemíngia e manduirana, respectivamente.

No verão, aos 55 dias de decomposição, a concentração de K da aleluieira chegou a 10% de sua concentração inicial. Neste mesmo período, o injá apresentou 30% de seu teor inicial, a flemíngia, 34% e a manduirana, 29%. Aos 90 dias, as concentrações remanescentes da aleluieira, do injá, da flemíngia e da manduirana equivaleram a 7%, 30%, 13% e 13% daquelas iniciais, respectivamente.

Durante o processo de decomposição, não houve diferenciação significativa entre as espécies.

As variações nas concentrações de K estão ilustradas na Figura 17.

FIGURA 17. VARIACÃO NA CONCENTRAÇÃO DO POTÁSSIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



O ingá e a flemíngia apresentaram, no inverno, os mais elevados teores iniciais de K nos ramos finos, diferindo significativamente do gênero *Senna*, conforme se observa na Tabela 9. No verão, a aleluieira, a flemíngia e a manduirana apresentaram valores equivalentes estatisticamente, diferindo do ingá, o qual teve seu teor de K significativamente reduzido, em relação àquele constatado no inverno. A aleluieira, por outro lado, demonstrou um aumento significativo no verão, em relação à concentração de K inicial obtida no inverno.

TABELA 9. CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($g.kg^{-1}$).

| | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | 3,33aA | 3,06aA | 2,74aA | 7,25bA | 2,52aAB | 2,48aAB |
| Ingá | 9,93aB | 6,88aB | 6,67aB | 2,91bB | 4,06bA | 3,33bA |
| Flemíngia | 8,26aB | 3,68aA | 2,52aA | 7,08aA | 1,12bB | 0,72aB |
| Manduirana | 4,89aA | 2,76aA | 1,49aA | 6,75aA | 0,62bB | 0,75aB |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Durante a decomposição ocorrida no inverno, observa-se uma tendência à redução nas concentrações de K, nos tecidos dos ramos finos remanescentes, em todas as espécies analisadas. Os teores de K da aleluieira, da flemíngia e da manduirana não diferiram entre si e foram menores que o teor do ingá, aos 55 e 90 dias de decomposição.

No decorrer do processo de decomposição no verão, apenas o ingá não seguiu a tendência de redução nos níveis de K nos ramos finos remanescentes. Ao longo de todo o período de decomposição, ocorrido no verão, notaram-se diferenças significativas ao se comparar o ingá com a flemíngia e a manduirana. No mesmo período, a aleluieira não diferiu significativamente de nenhuma das leguminosas em estudo.

O ingá foi a única espécie que revelou diferenças significativas, entre o inverno e o verão, aos 90 dias de decomposição.

No inverno, o ingá revelou a maior concentração inicial de K nos ramos grossos (Tabela 10). No verão, não houve diferenças significativas entre as espécies avaliadas. Tanto no inverno, quanto no verão, constatou-se uma rápida redução nos teores de K, para todas as espécies, concentrada no período até 90 dias de decomposição, indicando rápida liberação de K.

TABELA 10. CONCENTRAÇÃO DE POTÁSSIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS ($\geq 1,0$ cm) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($g.kg^{-1}$).

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | 3,20aA | 2,48aAB | 2,24aAB | 4,16aA | 1,99aA | 1,04aA |
| Ingá | 9,37B | 3,87A | 3,73A | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 4,78A | 1,37A | 1,23A |
| Manduirana | 4,55aA | 1,72aB | 1,14aB | 3,28aA | 0,98aA | 0,82aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2.5 Cálcio

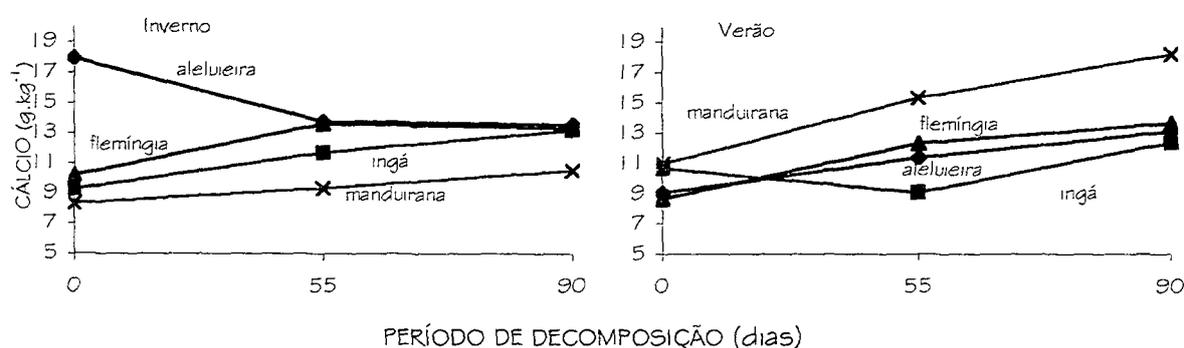
Verifica-se que a aleluieira, no inverno, apresentou a maior concentração inicial de cálcio, em seus tecidos foliares, diferindo das demais espécies (Anexo 9). Este resultado, não obstante, não se repetiu no verão, quando não houve diferenças estatísticas entre os teores foliares das diversas espécies estudadas.

No verão, as leguminosas diferenciaram-se, ao longo da decomposição foliar, aos 55 dias e aos 90 dias. A manduirana diferenciou-se com relação ao ingá, apresentando valores superiores em seus tecidos foliares remanescentes, enquanto, com relação às demais espécies, a manduirana mostrou valores similares.

Nota-se, no verão, uma tendência à liberação de Ca por parte da aleluieira, sendo o oposto observado para as demais espécies. No inverno, todas as espécies tenderam a acumular Ca, através do processo de decomposição.

A Figura 18 ilustra as variações na concentração do cálcio foliar, durante a decomposição dos tecidos.

FIGURA 18. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO CÁLCIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



Verifica-se na Tabela 11, que, no inverno, a aleluieira mostrou uma concentração inicial de cálcio nos ramos finos superior àquela da flemíngia. O ingá e a manduirana, com valores intermediários, não diferiram das demais leguminosas em análise. No verão, o ingá despontou com o maior teor de Ca inicial, diferindo de todas as espécies testadas neste trabalho, além de diferir de seu teor inicial encontrado no inverno.

No decorrer do processo de decomposição dos ramos finos, em ambas as épocas, não se encontraram diferenciações quanto aos teores de Ca entre as espécies. Verificou-se, em ambas as épocas, um acúmulo de cálcio no material (Tabela 11).

TABELA 11 - CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (<1,0 cm) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($g.kg^{-1}$).

| | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | 7,6aA | 7,8aA | 6,9aA | 4,3bA | 7,1aA | 7,9aA |
| Ingá | 5,7aAB | 6,2aA | 6,8aA | 8,9bB | 7,5aA | 8,1aA |
| Flemíngia | 4,6aB | 6,1aA | 6,1aA | 4,9aA | 5,5aA | 5,9aA |
| Manduirana | 5,4aAB | 5,6aA | 4,8aA | 4,7aA | 5,9aA | 7,2aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Diferenças significativas entre as concentrações de Ca iniciais dos ramos grossos só foram detectadas no verão, quando a flemíngia revelou um teor de Ca inicial menor que o da manduirana (Tabela 12).

Durante o processo de decomposição, verificou-se uma tendência de liberação de Ca, no inverno, para todas as espécies. No verão, contrariamente, a aleluieira apresentou tendência de acúmulo de Ca, enquanto as outras duas espécies, flemíngia e manduirana, praticamente, não variaram os teores de Ca nos tecidos.

TABELA 12. CONCENTRAÇÃO DE CÁLCIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS ($\geq 1,0\text{cm}$) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | 7,50aA | 4,28aA | 4,72aA | 3,77bAB | 6,72aA | 8,00bA |
| Injá | 6,58A | 4,22A | 4,90A | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 2,21A | 3,05B | 3,22B |
| Manduirana | 6,07aA | 3,50aA | 4,16aA | 5,75aB | 6,04bA | 6,00aA |

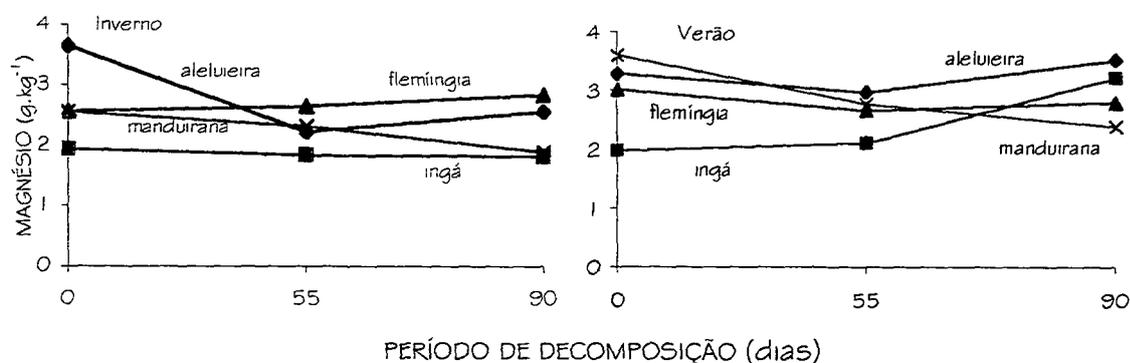
Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2.6 Magnésio

A aleluieira apresentou um teor inicial de magnésio significativamente superior ao do injá, tanto no inverno como no verão, sem que, no entanto, estas duas espécies apresentassem diferenças significativas com relação à flemíngia e à manduirana. Durante o processo de decomposição analisado as diferenças de concentração entre as leguminosas em estudo deixaram de ser significativas. Verifica-se, ainda, a ausência de diferenças estatísticas entre as duas épocas, para uma mesma espécie.

No inverno, denota-se uma tendência à queda na concentração do Mg foliar em todas as espécies analisadas (Figura 19). Já no verão, este comportamento só é observado na flemíngia e na manduirana, enquanto a aleluieira e o injá mostram um ligeiro aumento em relação a seus teores iniciais.

FIGURA 19. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DO MAGNÉSIO DURANTE A DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



Com apoio da Tabela 13, verifica-se que a aleluieira mostrou o menor teor inicial de magnésio nos ramos finos, entre as espécies analisadas, em ambas as épocas. Não houve diferenças entre o teor inicial de Mg, entre as estações, para uma mesma espécie.

TABELA 13. CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO PRESENTE NOS RAMOS FINOS (< 1 cm), 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg⁻¹).

| | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|--------|-------|-------|--------|-------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | 0,8aA | 1,0aA | 0,7aA | 0,9aA | 1,3aAC | 1,0aA |
| Ingá | 1,8aB | 1,6aC | 1,8aB | 2,1aB | 2,3aBC | 2,2aB |
| Flemíngia | 2,2aB | 2,7aBC | 2,5aB | 2,5aB | 2,4aB | 2,5aB |
| Manduirana | 2,2aB | 2,2aC | 1,9aB | 2,7aB | 1,5aC | 1,8aB |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A manduirana apresentou, em ambas as épocas, uma concentração significativamente menor que o ingá e a aleluieira, nos ramos grossos (Tabela 14). Percebe-se uma tendência à diminuição dos teores de magnésio, ao longo do período de decomposição analisado, tanto no inverno, quanto no verão.

TABELA 14. CONCENTRAÇÃO DE MAGNÉSIO PRESENTE NOS RAMOS GROSSOS DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg⁻¹).

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | 0,69aA | 0,088aA | 0,088aA | 0,075aA | 0,011aA | 0,013aA |
| Ingá | 1,29A | 0,013A | 0,013AB | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 0,013A | 0,015A | 0,015A |
| Manduirana | 0,022aB | 0,015aA | 0,017aB | 0,028aB | 0,016aA | 0,014aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4.2.7 Micronutrientes

A Tabela 15 revela que não houve diferenças significativas em ambas as estações avaliadas, no teor inicial de ferro contido nas folhas das leguminosas estudadas. Observa-se, também, que no inverno houve um aumento na concentração do ferro foliar, em todas as espécies, ao longo do período de decomposição analisado. No verão, a concentração do ferro foliar da manduirana apresentou um aumento maior, ao longo da decomposição avaliada, diferenciando-se do seu comportamento no inverno, nos períodos de decomposição equivalentes.

TABELA 15. CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (mg.kg⁻¹).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|------------|---------|-------|--------|--------|--------|-------|
| | | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | ferro | 150aA | 230aA | 330aA | 110aA | 640aAB | 570aA |
| Ingá | | 150aA | 200aA | 220aA | 80aA | 360aA | 400aA |
| Flemíngia | | 120aA | 200aA | 260aA | 70aA | 320aA | 290aA |
| Manduirana | | 90aA | 190aA | 200aA | 80aA | 910bB | 710bA |
| Aleluieira | manganês | 390aA | 350aA | 300aAB | 270aAB | 270aAB | 370aB |
| Ingá | | 130aB | 190aA | 190aA | 150aA | 160aA | 160aA |
| Flemíngia | | 530aA | 550aB | 740aC | 430aB | 490aBC | 570aC |
| Manduirana | | 380aA | 340aA | 390aB | 340aA | 390aB | 600bC |
| Aleluieira | cobre | 13aA | 16aA | 74aA | 17aA | 17aA | 33aA |
| Ingá | | 18aA | 25aA | 25aA | 27aA | 28aA | 41aA |
| Flemíngia | | 19aA | 28aA | 27aA | 24aA | 20aA | 30aA |
| Manduirana | | 10aA | 19aA | 17aA | 8aA | 17aA | 35aA |
| Aleluieira | zinco | 38aA | 37aA | 58aA | 28aA | 41aA | 55aA |
| Ingá | | 23aA | 19aA | 20aB | 25aA | 28aA | 34aA |
| Flemíngia | | 33aA | 39aA | 46aAB | 30aA | 36aA | 41aA |
| Manduirana | | 19aA | 21aA | 19aB | 19aA | 32aA | 46aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O ingá apresentou o menor teor inicial de manganês foliar, diferindo das demais espécies, no inverno e da flemíngia no verão (Tabela 15). Não houve diferenças nos teores iniciais entre as épocas, considerando uma mesma espécie. O ingá apresentou, também, as menores concentrações finais, em ambas as épocas analisadas, porém no inverno, equiparou-se à aleluieira. No inverno, a flemíngia apresentou a maior concentração de Mn, aos 90 dias. No verão, a flemíngia e a manduirana apresentaram os maiores valores nos teores remanescentes, sendo que na manduirana este valor, aos 90 dias, diferenciou-se de sua concentração final no inverno.

Não houve diferenças para os teores foliares iniciais de cobre, e de zinco, entre as espécies e entre as épocas, para uma mesma espécie (Tabela 15). Pode-se perceber uma imobilização de cobre no material vegetal em decomposição. No inverno, ao final do período de decomposição avaliado, foi verificado um teor de zinco superior na aleluieira, equivalente, no entanto, ao teor da flemíngia, indicando maior acúmulo de Zn nestas espécies. No verão, percebe-se uma tendência a acúmulo de Zn em todas as espécies, mais evidenciado na aleluieira e na manduirana.

Conforme apontado pela Tabela 16 os teores iniciais de ferro dos ramos finos não diferiram estatisticamente entre as espécies, nem entre as épocas.

TABELA 16. CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NOS RAMOS FINOS (<1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (mg.kg⁻¹).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|------------|---------|--------|-------|-------|--------|--------|
| | | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | ferro | 61aA | 54aA | 50aA | 75aA | 56aA | 66aA |
| Injá | | 130aA | 109aA | 113aA | 82aA | 163aA | 198aA |
| Flemíngia | | 86aA | 72aA | 71aA | 135aA | 90aA | 100aA |
| Manduirana | | 55aA | 61aA | 60aA | 115aA | 693bB | 133aA |
| Aleluieira | manganês | 228aA | 76aA | 68aA | 93bA | 141aA | 140aA |
| Injá | | 44aB | 45aA | 61aA | 26aA | 36aB | 35aB |
| Flemíngia | | 128aB | 128aAB | 107aA | 70aA | 118aAB | 125aAB |
| Manduirana | | 305aA | 196aB | 131aA | 229aB | 177aA | 228aA |
| Aleluieira | cobre | 14aA | 9aA | 14aA | 13aA | 15aA | 16aAB |
| Injá | | 23aB | 26aB | 26aB | 28aB | 31aB | 36bC |
| Flemíngia | | 21aAB | 20aB | 20aAB | 17aA | 16aA | 18aB |
| Manduirana | | 39aC | 9aA | 9aA | 14bA | 8aA | 10aA |
| Aleluieira | zinco | 20aA | 16aA | 14aA | 17aA | 10aA | 12aA |
| Injá | | 15aA | 22aA | 22aA | 21aA | 17aA | 23aA |
| Flemíngia | | 51aB | 40aB | 40aB | 23bA | 20bA | 19bA |
| Manduirana | | 31aA | 20aA | 18aA | 22aA | 14aA | 19aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A Tabela 16 mostra que, no inverno, a aleluieira e a manduirana apresentaram os maiores teores de manganês nos ramos finos. No verão, porém, enquanto a manduirana manteve um teor elevado, a aleluieira mostrou uma concentração mais baixa que seus níveis no inverno, não diferindo estatisticamente do injá e da flemíngia.

No inverno, o injá e a flemíngia apresentaram teores intermediários de cobre nos ramos finos, entre as espécies analisadas, não diferindo entre si (Tabela 16). A aleluieira apresentou o teor mais baixo e a manduirana, o mais elevado. No verão, o injá mostrou a maior concentração de cobre nos ramos finos. A manduirana teve sua concentração de cobre reduzida no verão, comparada a seu valor no inverno.

A Tabela 16 revela que, no inverno, a flemíngia continha o maior teor inicial de zinco, nos ramos finos, sendo que as demais espécies avaliadas não mostraram diferenças estatísticas entre si. No verão, as espécies apresentaram teores iniciais equivalentes. A flemíngia mostrou diferença significativa entre seus teores iniciais do inverno e do verão.

Nos ramos grossos, não se evidenciam diferenças nos teores de ferro, entre as espécies estudadas e entre as épocas, à exceção da manduirana, aos 120 dias de decomposição (Tabela 17).

TABELA 17. CONCENTRAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PRESENTES NOS RAMOS GROSSOS ($\geq 1,0$ cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|------------|---------|------|------|-------|-------|--------|
| | | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | ferro | 99aA | 63aA | 51aA | 68aA | 68aA | 76aA |
| Ingá | | 106A | 83A | 77A | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 66A | 86A | 75A |
| Manduirana | | 73aA | 68aA | 86aA | 6aA | 145aA | 218bB |
| Aleluieira | manganês | 143aA | 51aA | 39aA | 55bA | 90aA | 100bAB |
| Ingá | | 37B | 30A | 35A | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 40A | 63A | 67A |
| Manduirana | | 235aC | 50aA | 48aA | 86bA | 113bA | 126bB |
| Aleluieira | cobre | 162aA | 11aA | 8aA | 10bA | 12aA | 17aA |
| Ingá | | 70B | 26A | 23A | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 10A | 7A | 7A |
| Manduirana | | 24aB | 10aA | 12aA | 9aA | 7aA | 9aA |
| Aleluieira | zinco | 16aA | 9aA | 7aA | 14aA | 9aA | 13aA |
| Ingá | | 16A | 7A | 8A | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 18A | 20B | 15A |
| Manduirana | | 20aA | 4aA | 3aA | 13bA | 6aA | 11bA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No inverno, a Tabela 17 demonstra que os teores de Mn dos ramos grossos variaram na seguinte ordem: manduirana > aleluieira > ingá. No verão, não se detectaram diferenças entre as espécies. Entre épocas, a aleluieira e a manduirana revelaram teores menores no verão, quando também se percebeu acúmulo de Mn no material em decomposição.

A aleluieira apresentou a maior concentração de cobre nos ramos grossos, no inverno, quando a decomposição revelou uma tendência à liberação deste elemento (Tabela 17). No verão, a aleluieira mostrou um teor menor de Cu, comparado ao inverno, já entre as espécies, não houve diferenças quanto aos teores iniciais.

Entre as espécies, não se evidenciaram diferenças nos teores de zinco nos ramos grossos, em nenhuma das épocas, a exceção do valor superior da flemíngia, aos 90 dias, no verão (Tabela 17). Detectaram-se diferenças para a manduirana, entre o inverno e o verão. Pode-se perceber que houve liberação de zinco, no material em decomposição, em ambas as épocas.

4.4.3 Liberação de carbono e nutrientes através da decomposição

4.4.3.1 Carbono

Resumidamente, no inverno, o percentual de liberação de carbono dos tecidos foliares, ocorreu conforme descrito abaixo (Anexo 5):

- * manduirana=flemíngia;
- * manduirana>ingá e aleluieira;
- * flemíngia=aleluieira;
- * flemíngia>ingá;
- * aleluieira=ingá.

No verão, houve algumas alterações:

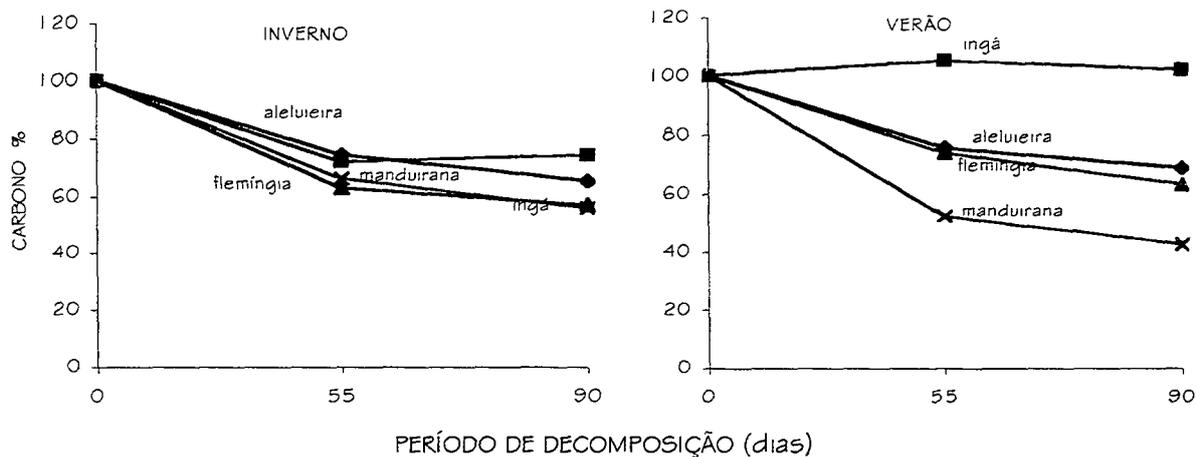
- * manduirana> flemíngia, aleluieira e ingá;
- * flemíngia=aleluieira (idem inverno);
- * ingá<manduirana, flemíngia e aleluieira.

Duas espécies apresentaram percentuais diferentes entre as épocas:

- * manduirana verão>manduirana inverno;
- * ingá verão<ingá inverno;

A Figura 20 ilustra o comportamento do carbono foliar durante o período de decomposição analisado.

FIGURA 20. LIBERAÇÃO DE C ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



Nos ramos finos, denota-se que a liberação de C ocorreu na ordem resumida a seguir (Anexo 6, Figura 21).

No inverno:

- * manduirana > aleluieira, flemíngia, ingá;
- * aleluieira > flemíngia;
- * aleluieira = ingá.

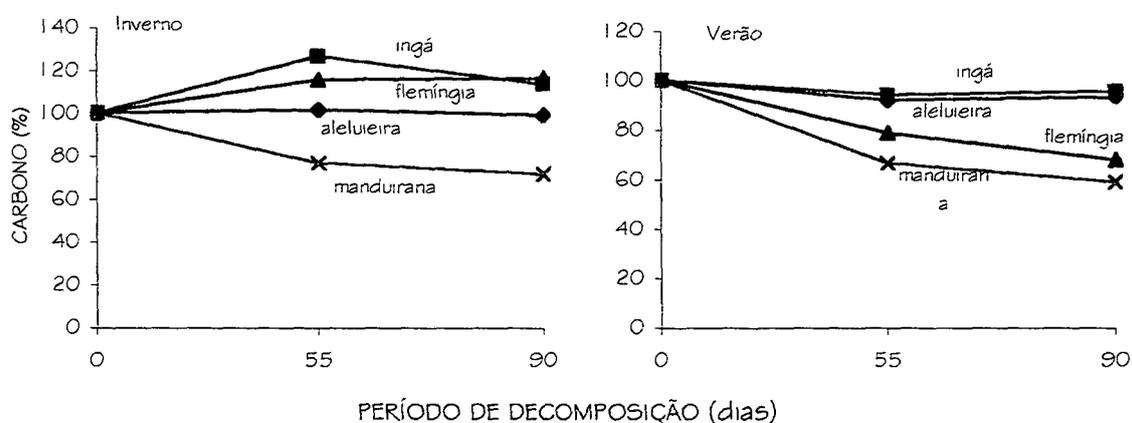
No verão:

- * manduirana = flemíngia > aleluieira = ingá.

Entre as épocas:

- * para o ingá e a flemíngia – verão > inverno.

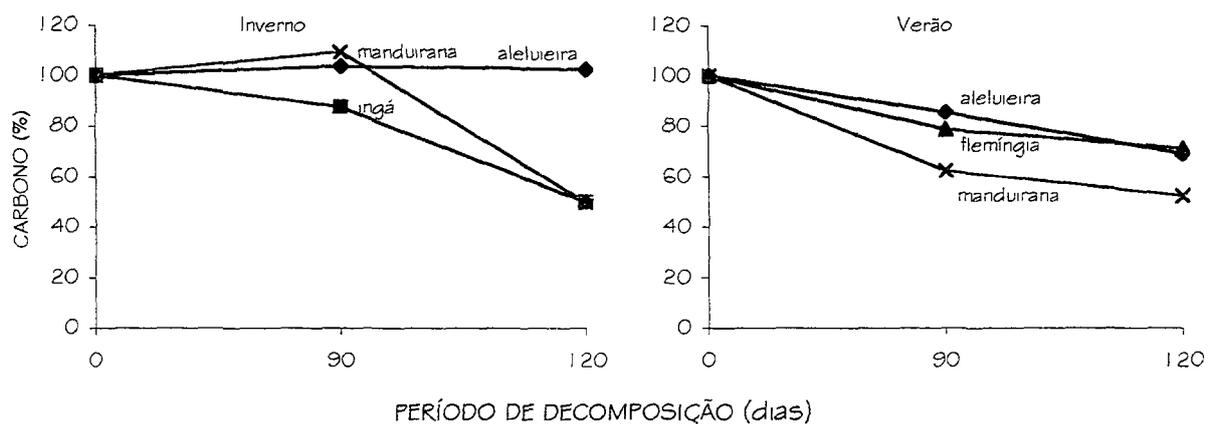
FIGURA 21. LIBERAÇÃO DE CARBONO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS.



Nos ramos grossos, a liberação de C ocorreu na seguinte ordem entre as espécies (Anexo 7, Figura 22):

- * no inverno – manduirana = ingá > aleluieira;
- * no verão – manduirana > flemíngia = aleluieira;
- * aleluieira inverno > aleluieira verão.

FIGURA 22. LIBERAÇÃO DE CARBONO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



4.4.3.2 Nitrogênio

O processo de liberação do N foliar consta no Anexo 5 e na Figura 23. No inverno, o percentual de liberação de N decorreu conforme abaixo:

- * manduirana > ingá e aleluieira;
- * manduirana = flemíngia;
- * flemíngia > aleluieira;
- * flemíngia = ingá;
- * ingá = aleluieira.

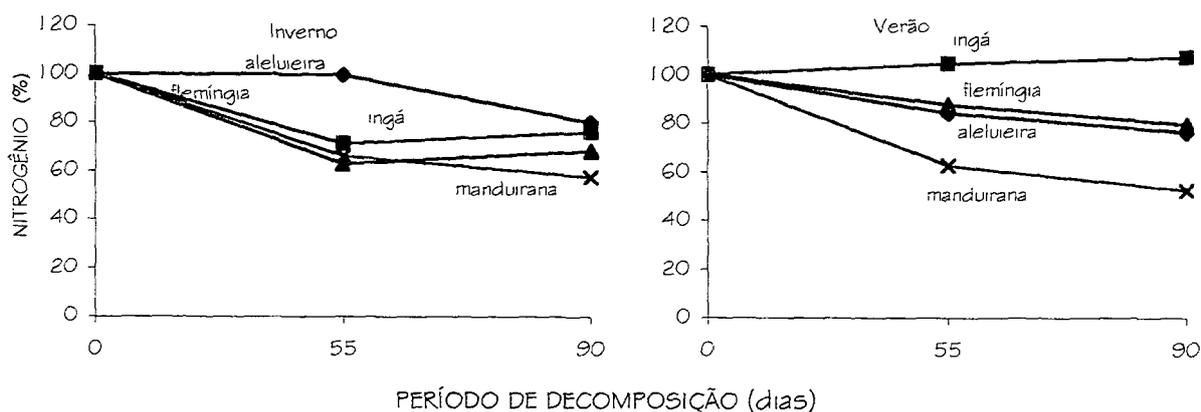
Já no verão:

- * manduirana > flemíngia, ingá e aleluieira
- * flemíngia = aleluieira > ingá;

Entre as épocas, apenas 2 leguminosas revelaram diferenças:

- * flemíngia e ingá verão < flemíngia e ingá inverno.

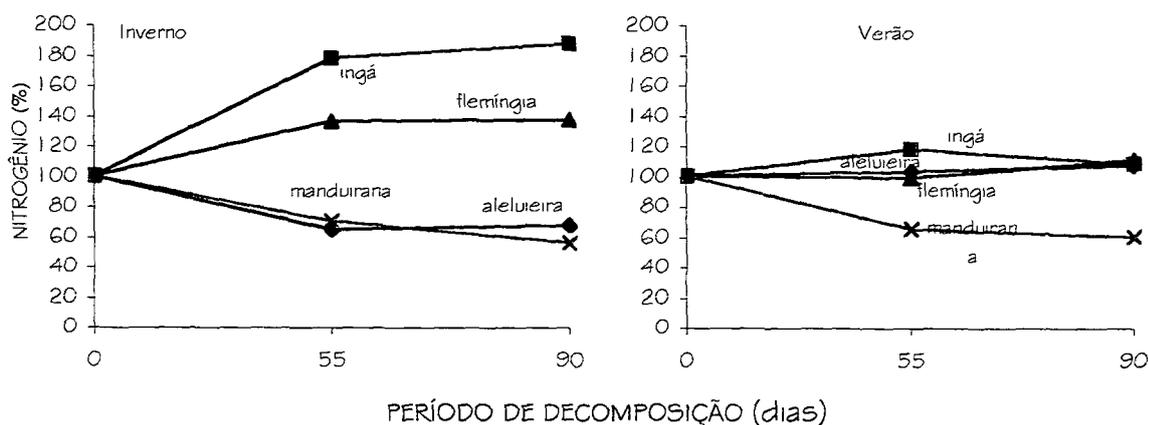
FIGURA 23. LIBERAÇÃO DE N ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS.



A análise da liberação de N, através da decomposição dos ramos finos, levou aos seguintes resultados (Anexo 6, Figura 24):

- * no inverno – manduirana=aleluieira>flemíngia>ingá;
- * no verão – manduirana>aleluieira=ingá=flemíngia;
- * para a aleluieira – inverno>verão;
- * para o ingá – verão>inverno.

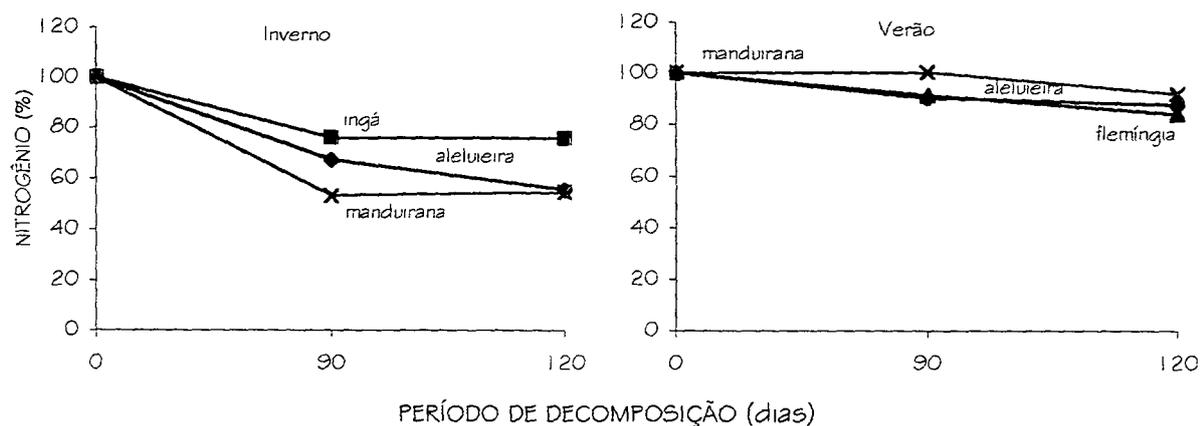
FIGURA 24. PERDA DE NITROGÊNIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS.



A liberação de N dos ramos grossos (Anexo 7, Figura 25) pode ser assim resumida:

- * no inverno - manduirana=aleluieira>ingá;
- * no verão - manduirana=aleluieira=flemíngia;
- * para a manduirana e a aleluieira – inverno>verão.

FIGURA 25. LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS.



4.4.3.3 Fósforo

Quanto ao percentual de liberação do P foliar, no inverno, percebe-se (Anexo 5):

- * manduirana=flemíngia=aleluieira
- * ingá=aleluieira
- * ingá < manduirana e flemíngia.

No verão, houve alterações:

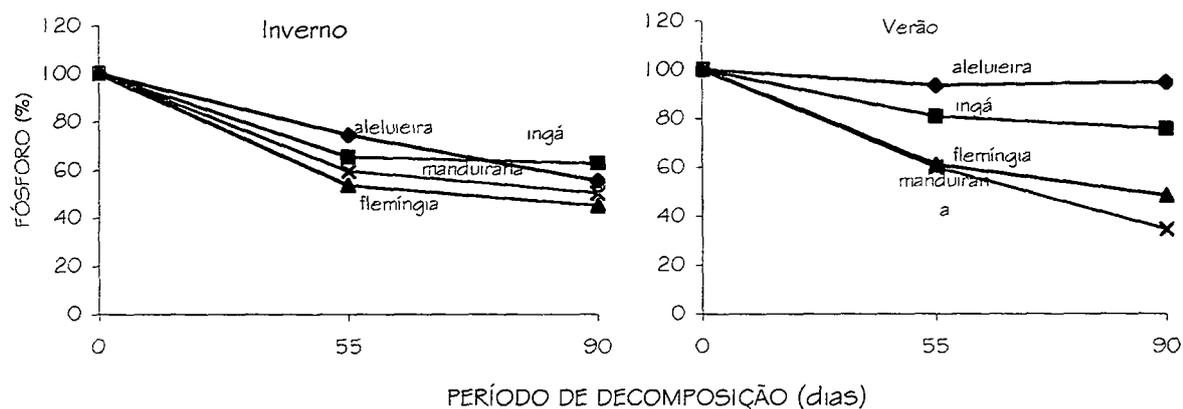
- * manduirana=flemíngia > ingá > aleluieira.

Entre as épocas, as diferenciações ocorreram para 2 espécies:

- * manduirana verão > manduirana inverno;
- * aleluieira verão < aleluieira inverno.

A Figura 26 ilustra a liberação do P foliar.

FIGURA 26. LIBERAÇÃO DE P ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DISTINTAS.



A liberação de P dos ramos finos pode ser, no inverno, assim resumida (Anexo 6, Figura 27):

- * manduirana > flemíngia;
- * manduirana = aleluieira = ingá;
- * flemíngia = aleluieira = ingá.

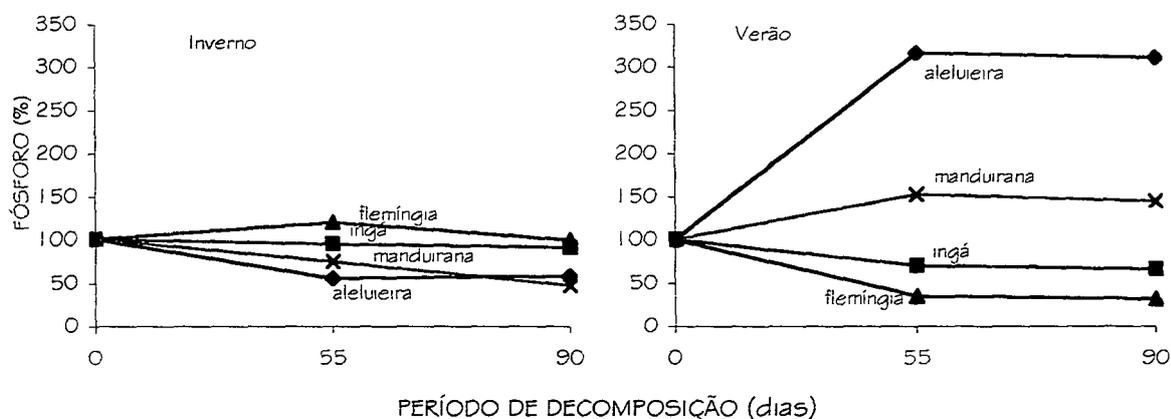
No verão:

- * flemíngia = ingá > manduirana > aleluieira.

Entre as épocas:

- * para a aleluieira e a manduirana – inverno > verão.

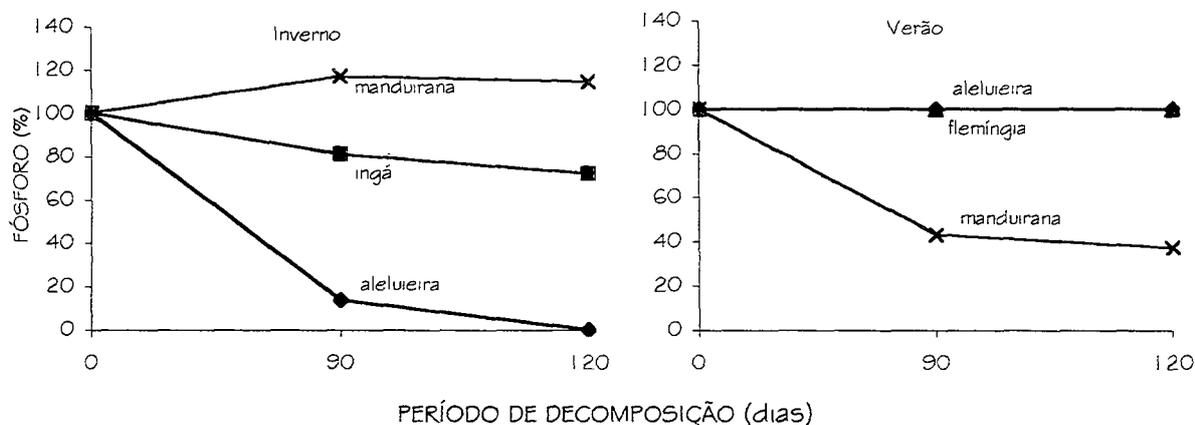
FIGURA 27. LIBERAÇÃO DE P ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (<1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO.



A liberação de P dos ramos grossos procedeu-se como resumido a seguir (Anexo 7, Figura 28):

- * no inverno – aleluieira > ingá > manduirana;
- * no verão – manduirana > aleluieira = flemíngia;
- * para a manduirana – verão > inverno;
- * para a aleluieira – inverno > verão.

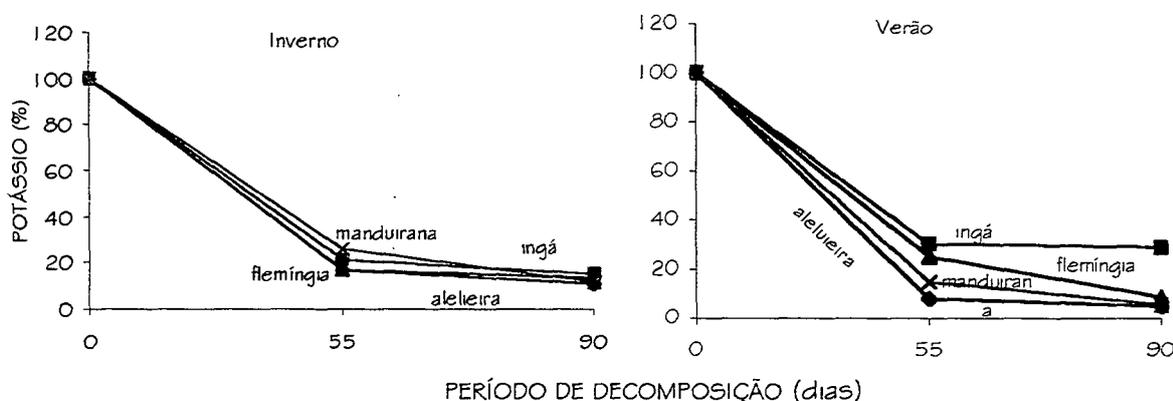
FIGURA 28. LIBERAÇÃO DE P ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) de 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



4.4. 3.4 Potássio

A liberação do K foliar está ilustrada nos gráficos da Figura 29. No inverno, não houve diferenciação entre as espécies (Anexo 5). No verão, o ingá diferenciou-se tanto das demais espécies, quanto de sua liberação ocorrida no inverno. Vale ressaltar que aos 55 dias de decomposição, nas duas épocas analisadas, 70% do potássio presente nos tecidos foliares já haviam sido liberados.

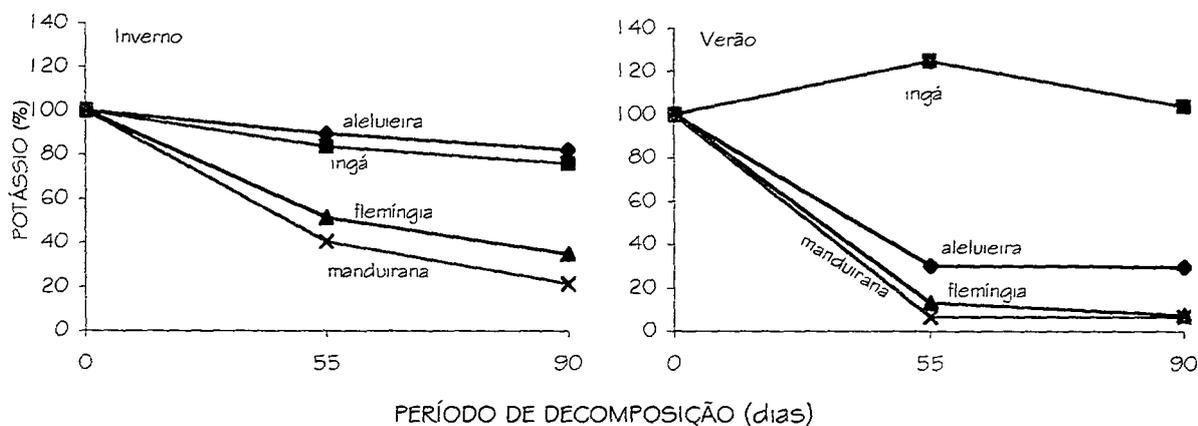
FIGURA 29. LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



Os resultados das análises da liberação do K, através da decomposição dos ramos finos, constam no Anexo 6. A Figura 30 mostra os gráficos respectivos. Depreende-se que houve diferenciação entre as espécies e épocas, quanto ao percentual da liberação:

- * no inverno – manduirana=flemíngia>aleluieira=ingá;
- * no verão – manduirana=flemíngia>aleluieira>ingá;
- * para a flemíngia e aleluieira - verão>inverno;
- * para o ingá – inverno>verão.

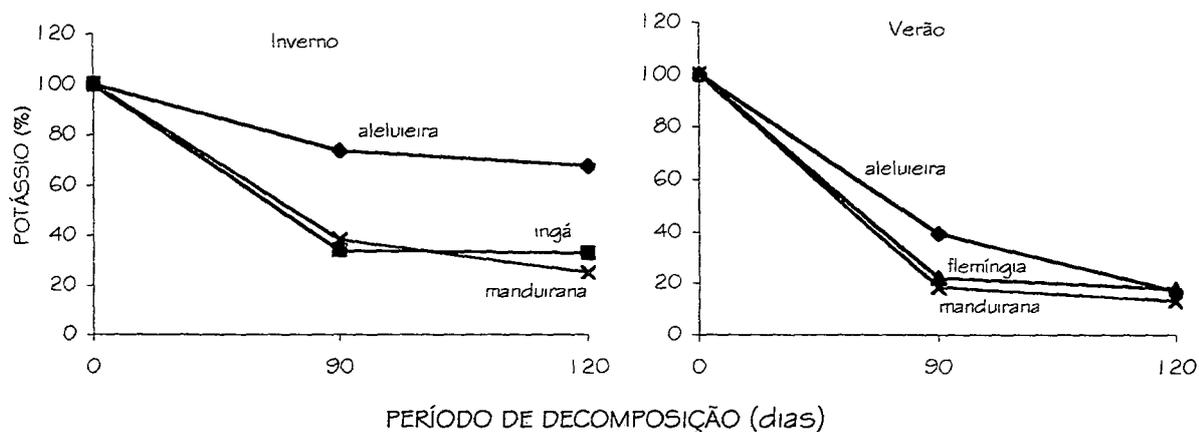
FIGURA 30. LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



A análise da liberação de K dos ramos grossos gerou os seguintes resultados (Anexo 7 e Figura 31):

- * no inverno – manduirana=ingá>aleluieira;
- * no verão – manduirana=aleluieira=flemíngia;
- * para a manduirana e a aleluieira – verão>inverno.

FIGURA 31. LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



4.4.3.5 Cálcio

No inverno, o ingá imobilizou Ca nos tecidos foliares e diferiu das demais espécies: $\text{ingá} < \text{aleluieira} = \text{manduirana} = \text{flemíngia}$ (Anexo 5).

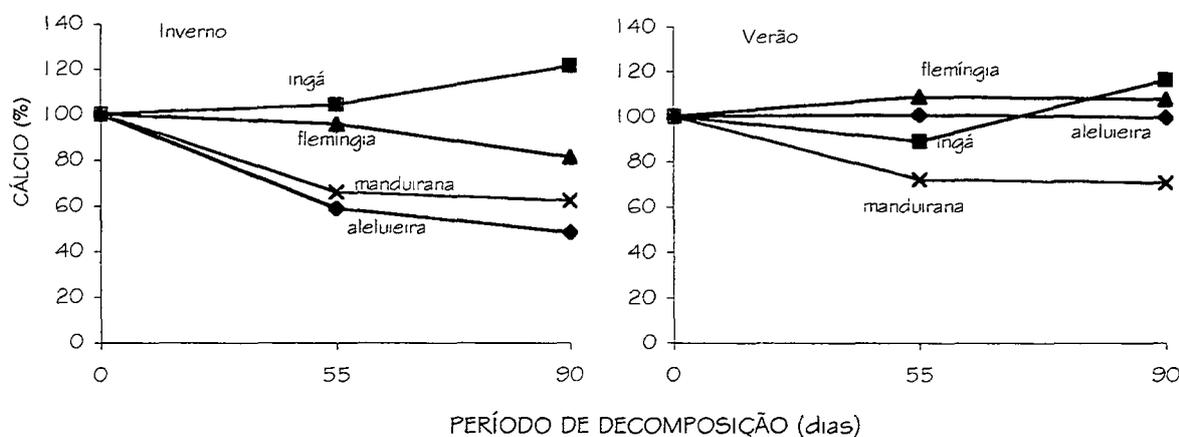
No verão, os percentuais de liberação apresentaram a seguinte ordem:

- * $\text{manduirana} > \text{ingá}$;
- * $\text{manduirana} = \text{aleluieira} = \text{flemíngia}$;
- * $\text{aleluieira} = \text{flemíngia} = \text{ingá}$.

Entre as épocas, apenas a aleluieira mostrou diferenças, revelando um maior percentual no inverno.

Os gráficos abaixo (Figura 32) ilustram o comportamento do processo de perda de cálcio.

FIGURA 32. LIBERAÇÃO DE CÁLCIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



Diante da Tabela 18, verifica-se que os percentuais de liberação de Ca pela decomposição dos ramos finos variou conforme a seguir:

- * no inverno – $\text{manduirana} = \text{aleluieira} > \text{ingá} = \text{flemíngia}$;
- * no verão – $\text{manduirana} = \text{flemíngia} = \text{ingá} > \text{aleluieira}$;
- * para a aleluieira – $\text{inverno} > \text{verão}$;
- * para o ingá e a flemíngia – $\text{verão} > \text{inverno}$.

TABELA 18. CÁLCIO REMANESCENTE (%) NOS RAMOS FINOS (< 1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 50 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.

| | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|----------|---------|-------|---------|---------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Alfeneira | 100 | 100,0aAB | 90,9aA | 100 | 141,7bA | 157,8bA |
| Injá | 100 | 129,7aBC | 135,4aB | 100 | 75,4bB | 82,1bB |
| Flemíngia | 100 | 154,9aC | 150,2aB | 100 | 91,7bB | 88,1bB |
| Manduirana | 100 | 73,3aA | 61,3aA | 100 | 84,9aB | 91,4aB |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A tabela 19 revela que, no inverno, não houve diferenças significativas, entre as espécies, para a liberação de Ca dos ramos grossos. Porém, denota-se que a porcentagem de liberação de Ca atingiu quase 50% de seu total inicial, para todas as espécies, até 90 dias de decomposição e, a partir daí até 120 dias, ocorreu um acúmulo do elemento.

TABELA 19. CÁLCIO REMANESCENTE (%) NOS RAMOS GROSSOS ($\geq 1,0$ cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|--------|--------|-------|---------|---------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Alfeneira | 100 | 54,2aA | 60,7aA | 100 | 146,2bA | 144,0bA |
| Injá | 100 | 52,7A | 61,6A | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 100 | 105,6B | 100,9B |
| Manduirana | 100 | 57,1aA | 67,5aA | 100 | 61,1aC | 53,7aC |

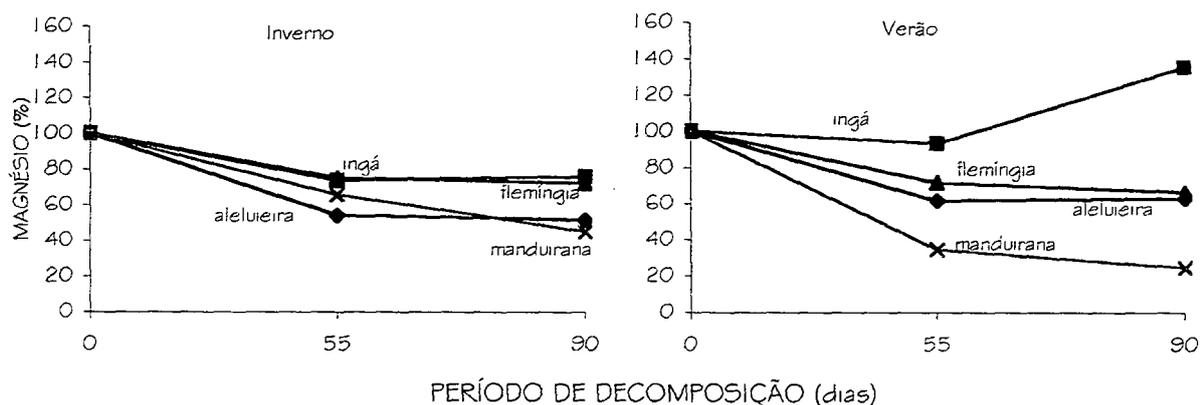
Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No verão, apenas a manduirana acusou liberação de cálcio. Os percentuais variaram da seguinte maneira: manduirana>flemíngia>alfeneira. Para a alfeneira: inverno>verão.

4.4.3.6 Magnésio

O teste de comparação de médias, entre os valores dos percentuais de magnésio liberados pelos tecidos foliares, não revelou diferenças estatísticas entre as espécies, no inverno (Anexo 5, Figura 33). Entre as épocas de decomposição somente houve diferença significativa para os 90 dias de decomposição do injá (inverno>verão), o qual não liberou Mg no verão, diferindo das demais espécies.

FIGURA 33. LIBERAÇÃO DE MAGNÉSIO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



O magnésio foi liberado dos ramos finos, caracterizando as variações resumidas a seguir (Tabela 20):

- * no inverno – manduirana > flemíngia = ingá e manduirana = aleluieira;
- * no inverno – aleluieira = flemíngia = ingá;
- * no verão – manduirana > ingá.

As demais comparações (entre espécies e entre épocas) não mostraram diferenças significativas.

TABELA 20: MAGNÉSIO REMANESCENTE (%) NOS RAMOS FINOS (<1,0 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 50 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.

| Espécie | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|----------|---------|-------|---------|---------|
| | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | 100 | 110,8aAB | 81,2aAB | 100 | 123,4aA | 89,6aAB |
| Ingá | 100 | 105,5aAB | 113,7aA | 100 | 98,2aA | 97,2aA |
| Flemingea | 100 | 142,4aA | 126,4aA | 100 | 79,9bAB | 74,0aAB |
| Manduirana | 100 | 73,7aB | 59,2aB | 100 | 38,3aB | 39,5aB |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

A aleluieira não liberou Mg dos ramos grossos, durante o inverno, até 120 dias de decomposição. Entre a manduirana e o ingá não houve diferenças significativas (Tabela 21). Percebe-se, ainda, que houve pouca liberação de Mg, concentrando-se no período até 90 dias de decomposição.

TABELA 21. MAGNÉSIO REMANESCENTE (%) NOS RAMOS GROSSOS DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.

| ESPÉCIE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|
| | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | 100 | 121,1aA | 122,5aA | 100 | 125,7aA | 121,0aA |
| Injá | 100 | 79,3B | 79,8A | - | - | - |
| Flemíngia | - | - | - | 100 | 84,6A | 77,8A |
| Manduirana | 100 | 67,8aB | 74,9aA | 100 | 33,4aB | 26,3aB |

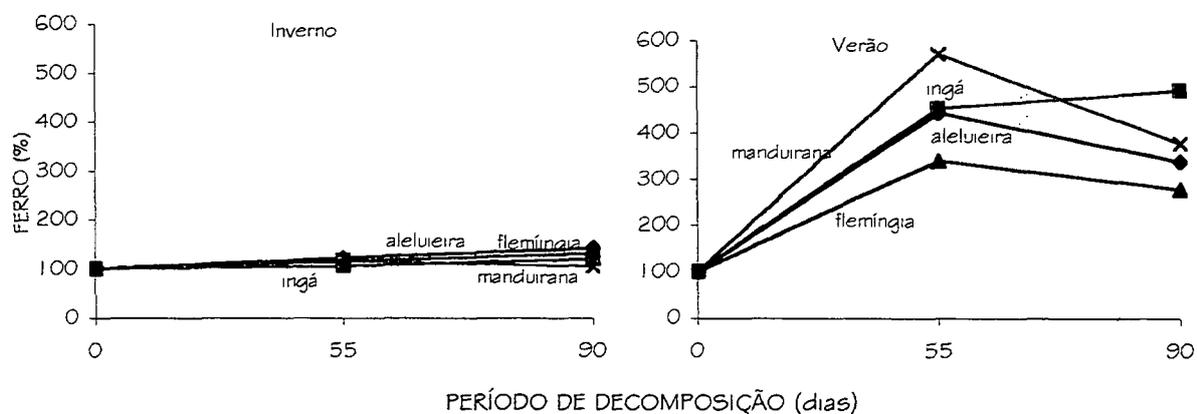
Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para um mesmo período de decomposição. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No verão, a aleluieira manteve a tendência de acúmulo do elemento, enquanto a manduirana mostrou uma liberação maior, diferenciando-se da flemíngia.

4.4.3.7 Micronutrientes

Não houve diferenças estatísticas entre as espécies, durante o processo de decomposição, quanto à liberação do ferro contido nas folhas. Ao contrário, observou-se uma acumulação deste elemento (Anexo 8, Figura 34). O injá apresentou diferenças entre o inverno e o verão, aos 90 dias de decomposição. A Figura 34 aponta para aumentos nas porcentagens de ferro presentes nos tecidos foliares, o que pode ser deficiência do método, o qual permite contaminações oriundas de partículas do solo e resíduos orgânicos.

FIGURA 34. LIBERAÇÃO DE FERRO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



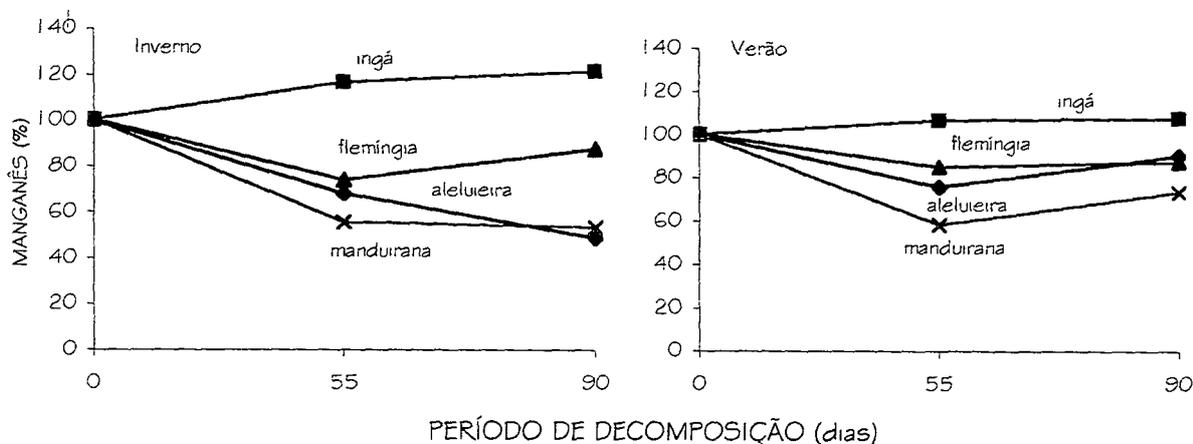
No inverno os percentuais de liberação do Mn foliar variaram na seguinte ordem (Anexo 8, Figura 35):

- * aleluieira=manduirana>injá;
- * aleluieira=manduirana=flemíngia;

* flemíngia=ingá.

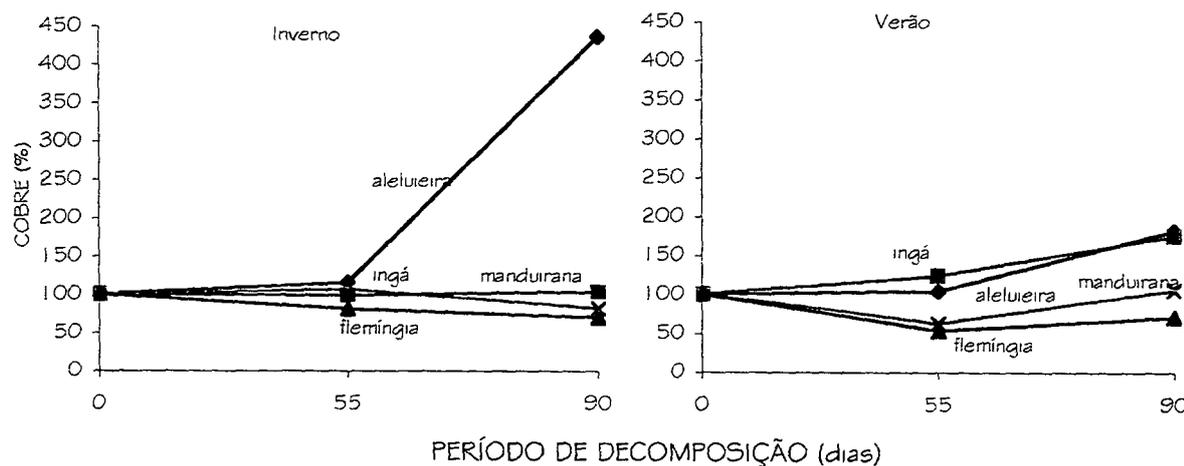
No verão não ocorreu diferenciação entre as espécies. A aleluieira liberou menos Mn no verão, comparativamente ao inverno.

FIGURA 35. LIBERAÇÃO DE MANGANÊS ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



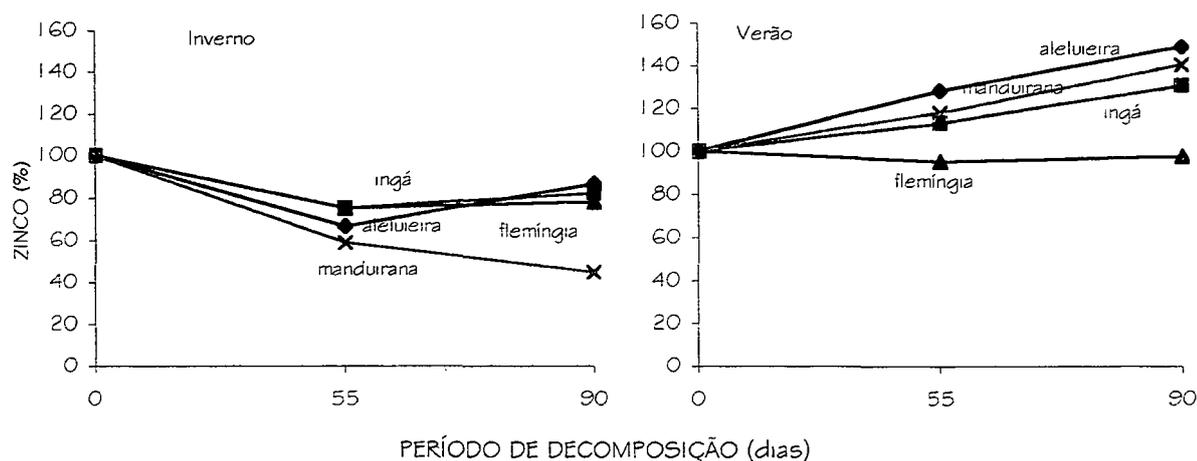
A liberação de cobre pela decomposição dos tecidos foliares, no inverno, foi maior na flemíngia do que na aleluieira, as demais comparações não resultaram em diferenças significativas (Anexo 8, Figura 36).

FIGURA 36. LIBERAÇÃO DE COBRE ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



Ao final do período de decomposição avaliado não se detectaram diferenças, na liberação do Zn foliar, entre as espécies, em nenhuma das épocas (Anexo 8, Figura 37). Observou-se, entretanto, uma tendência de liberação do elemento no inverno, enquanto que, no verão, a tendência foi de acumulação do elemento.

FIGURA 37. LIBERAÇÃO DE ZINCO ATRAVÉS DA DECOMPOSIÇÃO DOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).



Percebe-se, através da tabela 22, que houve pouca liberação do ferro dos ramos finos, no inverno, atingindo um máximo de 25% de seu total inicial, no final do período analisado (90 dias de decomposição). Denota-se, ainda, que não houve diferenciação estatística entre as espécies, nem entre épocas, ao final dos períodos de decomposição avaliados.

TABELA 22. MICRONUTRIENTES REMANESCENTES NOS RAMOS FINOS (< 1,0 CM) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%).

| ESPÉCIE | NUTRIENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|-----------|---------|---------|---------|-------|----------|---------|
| | | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | ferro | 100 | 86,4aA | 81,6aA | 100 | 64,8aA | 75,5aA |
| Ingá | | 100 | 101,5aA | 97,7aA | 100 | 175,1aAB | 219,1aA |
| Flemíngia | | 100 | 99,2aA | 94,2aA | 100 | 54,2aA | 53,3aA |
| Manduirana | | 100 | 78,2aA | 75,0aA | 100 | 469,4bB | 71,5aA |
| Aleluieira | manganês | 100 | 32,5aA | 29,7aA | 100 | 132,2bB | 130,2bB |
| Ingá | | 100 | 123,3aB | 157,7aC | 100 | 123,7aB | 124,0aB |
| Flemíngia | | 100 | 116,5aB | 93,9aB | 100 | 137,5aB | 129,7aB |
| Manduirana | | 100 | 44,9aA | 29,7aA | 100 | 52,8aA | 58,7aA |
| Aleluieira | cobre | 100 | 61,2aB | 100,6aB | 100 | 98,4bBC | 105,2aC |
| Ingá | | 100 | 136,5aD | 125,2aB | 100 | 100,3bC | 115,9aC |
| Flemíngia | | 100 | 109,7aC | 107,9aB | 100 | 74,2bB | 75,6bB |
| Manduirana | | 100 | 15,9aA | 16,4aA | 100 | 38,4bA | 39,8bA |
| Aleluieira | zinco | 100 | 73,5aA | 67,7aA | 100 | 53,1aA | 61,6aA |
| Ingá | | 100 | 173,6aB | 163,9aB | 100 | 74,9bA | 100,5bA |
| Flemíngia | | 100 | 91,2aA | 88,8aA | 100 | 69,3aA | 58,7aA |
| Manduirana | | 100 | 47,3aA | 40,4aA | 100 | 44,3aA | 49,7aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e nutriente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo nutriente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O processo de liberação de manganês dos ramos finos ocorreu, no inverno, na seguinte ordem: aleluieira=manduirana>flemíngia>ingá. No verão, a manduirana

revelou uma liberação maior que as demais espécies. Ocorreram diferenças, entre as épocas, para a aleluieira (inverno>verão).

Na tabela 22, fica visível a variação na liberação do cobre, pelos ramos finos:

- * no inverno – manduirana>aleluieira=flemíngia=ingá;
- * no verão – manduirana>flemíngia>aleluieira=ingá;
- * para a manduirana – inverno>verão;
- * para a flemíngia - verão>inverno.

A tabela 22 mostra que apenas o ingá, durante a decomposição de seus ramos finos, no inverno, diferenciou-se das demais espécies e entre as épocas, mostrando os mais elevados percentuais de zinco remanescente.

Na Tabela 23 observa-se que, no inverno, não houve diferenças nos percentuais de liberação de Fe, dos ramos grossos, entre as espécies. No verão, ocorreu uma pequena liberação de ferro na aleluieira e no ingá, enquanto a manduirana acumulou o elemento em proporções ainda maiores, diferindo dos valores registrados no inverno e das demais espécies.

TABELA 23. MICRONUTRIENTES REMANESCENTES NOS RAMOS GROSSOS ($\geq 1,0$ cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%).

| ESPÉCIE | NUTRIENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|-----------|---------|--------|---------|-------|----------|----------|
| | | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | ferro | 100 | 60,3aA | 49,1aA | 100 | 82,3aA | 75,3aA |
| Ingá | | 100 | 64,1A | 60,3A | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 98,3A | 77,1A |
| Manduirana | | 100 | 93,5aA | 114,9aA | 100 | 1433,1bB | 1830,7bB |
| Aleluieira | manganês | 100 | 34,0aA | 26,0aA | 100 | 133,2bA | 120,1bA |
| Ingá | | 100 | 67,1B | 78,6B | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 119,3A | 114,5A |
| Manduirana | | 100 | 20,8aA | 19,9aA | 100 | 74,8bB | 73,7bB |
| Aleluieira | cobre | 100 | 6,4aA | 4,8aA | 100 | 102,4bA | 112,7bA |
| Ingá | | 100 | 30,6AB | 27,2AB | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 54,9B | 44,7B |
| Manduirana | | 100 | 39,7aB | 50,9aB | 100 | 44,5aB | 50,9aB |
| Aleluieira | zinco | 100 | 52,3aA | 42,5aA | 100 | 50,8aA | 63,1aA |
| Ingá | | 100 | 36,9AB | 39,7A | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 82,6B | 58,9A |
| Manduirana | | 100 | 22,2aB | 14,8aA | 100 | 27,5aA | 42,5aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e nutriente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo nutriente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Verifica-se que houve uma rápida liberação de manganês, a partir dos ramos grossos, para os casos da aleluieira e da manduirana, no inverno, registrando-se

diferenças significativas com relação ao ingá (Tabela 23). No verão a liberação do Mn foi mais lenta, diferenciando-se, na manduirana, daquela do inverno. A aleluieira e a flemíngia não registraram liberação deste elemento no verão, durante o período analisado.

A tabela 23 revela, no inverno, uma liberação quase total do cobre contido nos ramos grossos da aleluieira, diferenciando-se da manduirana, e equiparando-se ao ingá. No verão, o percentual de liberação de Cu dos ramos grossos da manduirana manteve-se similar àquele do inverno, também não se diferenciando do percentual da flemíngia. Por outro lado, a aleluieira revelou acúmulo do elemento, durante o período estudado, diferenciando-se do percentual atingido no inverno.

Percebe-se, pela tabela 23, que o Zn dos ramos grossos foi facilmente liberado, principalmente no inverno, quando em todas as espécies analisadas os percentuais ultrapassaram 50%. No verão, a liberação foi mais lenta, embora sem diferenças estatísticas entre as épocas.

5 DISCUSSÃO

5.1 ASPECTOS RELATIVOS AO SOLO

Observa-se que o solo do presente experimento (Tabela 1), apresenta importantes limitações químicas, principalmente quanto à deficiência de fósforo e alta saturação com alumínio, nos horizontes A e B, o que LEPSCH (1983) caracteriza como um fator limitante, pois a camada subsuperficial do solo é de difícil melhoramento.

A relação C/N do solo do experimento de 11,04 para o horizonte A e de 6,5 para o horizonte B (calculada a partir da Tabela 1), estão de acordo com MELLO *et al.* (1984) que afirmam que a relação C/N dos solos varia de 10 a 12/1, sendo geralmente mais estreita nas camadas mais profundas do que nas camadas superficiais. Isto indica que para elevar o conteúdo de N deste solo, deverá, também, ser elevado o conteúdo de matéria orgânica, a fim de serem evitadas perdas de N, provocadas pela falta de C e energia aos microrganismos do solo (MELLO *et al.*, 1984). Ressalta-se, ainda, que conforme assinalado por MELLO *et al.* (1984) e TISDALE (1993), 95% do N presente nos solos encontra-se na forma orgânica, confirmando a inter-relação destes compostos.

Um aumento no teor da matéria orgânica pode contribuir, também, para a correção da deficiência de P, visto que, de acordo com TISDALE (*op. cit.*), em torno de 50% do P do solo encontra-se na forma orgânica. Ressalta-se que as condições de solo foram encontradas sem ter havido revolvimento do solo, que provocasse maior aeração e demais condições de decomposição da matéria orgânica. Assim, pode-se perceber um potencial para a redução dos níveis de C, N e P, caso estes solos sejam trabalhados sem a utilização de técnicas de conservação de solo (incluindo a conservação da matéria orgânica do solo).

As restrições físicas mais comuns nos solos tropicais são o elevado teor de areia e a declividade. Na área de estudo, entretanto, a textura média do horizonte A e argilosa do horizonte B não resultam em fatores limitantes ao desenvolvimento das culturas agrícolas. Proporcionam, por um lado, capacidade de armazenamento d'água e, por outro, não causam restrições significativas à drenagem.

O relevo, fortemente ondulado, pode resultar em processos de perdas de solo por erosão. Provavelmente, devido à manutenção da cobertura vegetal no solo (vegetação herbáceo-arbustiva de crescimento espontâneo no período anterior à implantação do projeto, a qual foi roçada durante o período de condução do experimento) não se evidenciaram, aparentemente, processos erosivos. Esta constatação está de acordo com a afirmação de FOSTER *et al.* (1985), de que a cobertura do solo desempenha papel importante na proteção contra a erosão. Pois, as gotas de chuva, interceptadas por tal cobertura, diminuem sua velocidade e tamanho, a partir de então, não conseguem adquirir mais velocidade até atingirem o solo. Ademais, a cobertura proporciona aumento da rugosidade.

5.2 SOBREVIVÊNCIA

Os resultados de sobrevivência constam no Anexo I e na Figura 8. Foi verificado, no decorrer do experimento, principalmente, no ano de estabelecimento das mudas, intenso ataque de formigas cortadeiras. A aleluieira foi a espécie menos procurada pelas formigas, portanto, menos prejudicada. A elevada mortalidade, registrada para as demais espécies, pode ser relacionada ao ataque pelas formigas, aliado às condições do solo (elevado pH, elevada acidez e baixos teores de macronutrientes). Assim, se o desenvolvimento das plantas era afetado, negativamente, pela diminuição da superfície foliar (desfolha causada pelas formigas), no ambiente das raízes também não havia disponibilidade suficiente de nutrientes, de modo a facilitar a recuperação da vegetação.

Pode-se associar a elevada mortalidade (30%) do ingá, no presente experimento, ao ambiente isento de sombreamento, com menos umidade e menor teor de matéria orgânica, além da baixa fertilidade do solo. Ressalta-se que RODERJAN e KUNIYOSHI (1988) e CARVALHO (1994) relataram sobre a preferência desta espécie por umidade e fertilidade química elevadas. Provavelmente, em plantios a céu aberto, a ausência de sombra e umidade seja compensada por um maior nível de nutrientes no solo. No presente estudo, diversos fatores limitantes ocorrendo concomitantemente impediram as plantas de superá-los.

Após a segunda poda, observou-se uma redução geral no stand.

A flemíngia, que havia demonstrado tendências a aumento de sua produção após a primeira poda, mostrou elevada taxa de mortalidade, atingindo 70% das plantas. Diversos trabalhos comprovam a capacidade de rebrota desta espécie, descartando a possibilidade de aumento de stress, provocado pela sucessão de podas.

A manduirana, espécie que apresentou a tendência a ocupar o 3º lugar, entre as espécies no presente estudo, em todos os parâmetros de produção de biomassa analisados, à exceção dos ramos grossos (Figura 10), mostrou o melhor índice final de sobrevivência.

SEITZ (1995) explica que a exposição da base do tronco pode ter um efeito negativo denominado "queima da casca". Por estarem adaptadas a ambientes com menos energia, determinadas arbóreas possuem casca pouco protegida contra altas temperaturas. A exposição súbita a altas temperaturas geradas pela insolação direta, causa a morte das células da casca na parte exposta, prejudicando sensivelmente a planta. No dia 23/12/97, o IAPAR registrou a temperatura de 39,2° C, em 28/01/98, a temperatura atingiu 38,6° C. Este fato poderia responder sobre a mortalidade das espécies nativas, cujos habitats são ambientes mais fechados e a poda constitui-se em um fator novo, para o qual ainda não houve adaptação. No entanto, não explica sobre a mortalidade da flemíngia.

Diversas hipóteses foram levantadas para compreender a elevada mortalidade, retardamento na rebrota e na produção de biomassa na parte aérea das plantas estudadas, após a 2ª poda. Ponderou-se sobre a capacidade das plantas em suportar 2 podas em um intervalo de 7 meses em uma região aonde a temperatura mínima absoluta chega a atingir 6,2° C, conforme foi registrado em 07/06/97, pelo Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Ou seja, mesmo classificando-se como clima tropical e isento de geadas (Af), as geadas podem ocorrer e as temperaturas são mais baixas que em muitas das regiões onde se tem verificado a maioria dos trabalhos de *alley cropping*.

5.3 ALTURA

A aleluieira apresentou uma média de 1,74 m de altura, aos 15 meses, quando foi podada a 0,50 m do solo (Anexo 2, Figura 9). Depois da poda, em 7 meses, esta espécie cresceu 1,58 m. CARVALHO (1994) mostra que, em São Mateus do Sul (PR), a espécie atingiu 1,28 m em 12 meses e em Paranaquá, também no litoral do Paraná, atingiu 8,35 m, aos 8 anos. Percebe-se que a aleluieira apresentou um bom crescimento em altura, comparado a outros experimentos com esta espécie.

O ingá apresentou um desenvolvimento, até certo ponto, inesperado, pois se trata de uma espécie autóctone, cujas sementes foram coletadas no Município de Morretes. Não obstante o ingá-macaco ser considerado uma espécie heliófila, que tolera sombra moderada (CARVALHO, 1994), RODERJAN e KUNYOSHI (1988) discorrem sobre sua ocorrência em formações secundárias, no estrato herbáceo-arbustivo das formações florestais em estágio inicial de regeneração natural, comumente denominadas capoeiras. Segundo estes autores o ingá-macaco ocorre associado a outras espécies que toleram o ambiente sombreado e que definirão o estrato superior, na fase seguinte da sucessão florestal. RODERJAN e KUNYOSHI (1988), complementam que no sub-bosque da vegetação secundária em estágio médio de regeneração natural (conhecida como capoeirão), o ambiente superúmido favorece a ocorrência dos ingazeiros, os quais formarão o 2º estrato das florestas secundárias em estágio avançado de regeneração natural.

Pode-se, então, associar o pequeno crescimento e elevada mortalidade do ingá, no presente experimento, ao ambiente isento de sombreamento, com menos umidade e menor teor de matéria orgânica, além da baixa fertilidade do solo.

PERIN *et al.* (1996) encontraram uma altura de 2,46 m para a *Flemíngia congesta*, no 2º ano após o plantio. LOCATELLI *et al.* (1991) encontraram para a *F. congesta* uma altura de 2,58 m, aos 12 meses após o plantio. Verifica-se, então, que neste experimento, as alturas registradas à 1ª e à 2ª podas (87,9 cm e 147,7 cm, respectivamente) foram muito baixas para a espécie, devido, provavelmente, à baixa fertilidade do solo e ausência de adubações, aliadas aos ataques pelas formigas cortadeiras.

Verifica-se que a manduirana apresentou alturas menores que a flemíngia - 55,8 cm e 92,2 cm na 1ª e 2ª podas, respectivamente - embora sem diferir estatisticamente, podendo-se supor que a espécie teve seu crescimento prejudicado, já que LORENZI (1992) caracteriza esta espécie como de rápido crescimento.

5.4 BIOMASSA

A aleluieira, planta que se destacou significativamente na produção de biomassa, entre as espécies analisadas, revelou uma produção de biomassa foliar de 569,6 kg.ha⁻¹ no inverno e 760,8 kg.ha⁻¹ no verão, portanto, atingiu 1330,4 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ (Anexo 4, Figura 10). Esta produção foi baixa, comparada a produções obtidas em outros estudos de sistemas agroflorestais, por pesquisadores como KANG *et al.* (1981), YAMOAHA *et al.*, (1986), BUDELMAN (1988a), DUGUMA *et al.* (1988) e SCHROTH *et al.* (1995). As demais espécies analisadas, no entanto, apresentaram seu desenvolvimento seriamente debilitado, não demonstrando aptidão produtiva para as condições do ambiente estudado, sem que nele sejam efetuadas melhorias (Anexo 4, Figura 10).

Comparando-se a produção de biomassa total, a diferença entre a aleluieira e a flemíngia é de 13,6 vezes, entre a aleluieira e a manduirana, de 18,2 e entre a aleluieira e o ingá, é de 16,7. Na segunda poda (no verão) a superioridade da aleluieira em relação à flemíngia caiu para 3,3 vezes, em relação à manduirana, para 4,7 vezes, somente para o ingá houve pouca alteração, tal diferença foi de 13,9 vezes. A leucena não apresentou biomassa suficiente para ser podada e avaliada.

Deve ser lembrado que o presente experimento tentou exprimir as condições de campo encontradas pelos pequenos agricultores da região, portanto a não utilização de insumos, capazes de reverter os resultados de produtividade das espécies estudadas, era primordial.

A falta de adaptação da leucena ao ambiente estudado pode ser atribuída ao caráter ácido dos solos, o qual, aliado à pequena disponibilidade de nutrientes, limita o desenvolvimento da leucena, considerada uma espécie intolerante à acidez e que exige grandes quantidades de nutrientes, principalmente P, K e Ca (NAIR, 1993). FRANCO e NEVES (1992) explicam que as leguminosas fixadoras de N, por associação simbiótica com o *Rhizobium sp.*, demandam altas quantidades de P para a fixação, no entanto, a geometria de seu sistema radicular restringe a absorção deste nutriente, reforçando a exigência destas espécies por P. Segundo os mesmos autores, a ausência de nodulação, em condições de acidez pode ser provocada tanto pela própria acidez, como pela ausência de cálcio. Eles afirmam, ainda, que as leguminosas sensíveis ao pH (atividade dos íons H⁺) ou à toxidez por Al⁺³, em condições de baixa disponibilidade de Ca²⁺, apresentam uma diminuição em sua infecção inicial e no início de produção de nódulos. Conforme já comentado, a tabela 1 aponta que o solo em estudo contém níveis muito baixos de P e de Ca disponível,

além de demais características inerentes a solos de baixa fertilidade, o que pode ter contribuído significativamente para as produções obtidas neste trabalho.

Outro fator que pode ser atribuído à debilidade da leucena é a origem de suas sementes. Estas foram adquiridas de Terra Boa, município da região norte do Paraná. De acordo com o Levantamento de reconhecimento dos solos do Paraná (EMBRAPA, 1981), os solos que ocorrem neste município são LRe1 (latossolo roxo eutrófico A moderado textura argilosa, relevo suave ondulado e praticamente plano), PV3 (podzólico vermelho-amarelo distrófico, argila de baixa atividade, A moderado textura arenosa a média, relevo suave ondulado), LEa1 (latossolo vermelho-escuro, álico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado), TRe1 (terra roxa estruturada, eutrófica, A chernozêmico, textura argilosa, relevo ondulado) e LEd2 (latossolo vermelho-escuro distrófico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado e praticamente plano). O mapa "Geologia do Estado do Paraná" (MINEROPAR, 1986), indica que as rochas ocorrentes nesta região são, predominantemente, os basaltos e andesitos (Formação Serra Geral), ocorrendo, também, os arenitos arroxeados (Formação Caiuá). Portanto, pressupõe-se que as sementes originaram-se de matrizes que se desenvolveram em solos mais férteis que aqueles da área deste estudo.

A pequena produção de biomassa da flemíngia também pode ser associada às condições do solo. Trata-se de uma espécie que se associa ao *Rhizobium sp.*, portanto, a baixa fertilidade também pode ter afetado a fixação de N. Por outro lado, constatou-se, ainda, que houve uma tendência de aumento na produção de biomassa e aumento na altura, após a 1ª poda (Figuras 9 e 10 e Anexos 2 e 4), indicando que a espécie apresenta algum potencial para as condições regionais, devendo este ser mais explorado em estudos posteriores.

De acordo com BUDELMAN (1988a), a *Flemíngia macrophylla* apresenta uma característica relevante que é seu hábito de crescimento diferente de espécies como a *Leucaena leucocephala* e a *Gliricidia sepium*. A flemíngia tem um potencial menor para expansão, conseqüentemente, sob baixas densidades de plantio, sua produtividade por unidade de área fica prejudicada. No mesmo trabalho, é aferido o índice de área foliar, o qual para a flemíngia denota uma baixa massa específica de suas folhas. Logo, o autor conclui que esta espécie traduz-se em uma eficiente cobertura de solo. Para as condições de clima e solo do presente estudo, tal fator é procurado, por concorrer para o combate à erosão. Assim, enquanto o autor encontrou para a leucena um recobrimento de 19,37 m².kg⁻¹, para a flemíngia foi de 21,45 m².kg⁻¹.

BUDELMAN (1988a) ressalta que a *L. leucocephala*, a *G. sepium* e a *F. macrophylla* apresentam movimentos de repouso de suas folhas, na ausência de luz e movimentos análogos durante chuvas fortes. Enquanto a *L. leucocephala* apresenta a intensidade mais elevada de tais movimentos, entre as 3 espécies estudadas pelo investigador, a *F. macrophylla* apresenta a mais leve intensidade daqueles movimentos de repouso. Esta característica também é relevante, em virtude da redução na proteção do solo, durante a noite e/ou tempestades.

Assim como a flemíngia, a manduirana apresentou baixa produção de biomassa e tendência a uma melhoria em sua produtividade, após a primeira poda (Figuras 9 e 10 e Anexos 2 e 4). O pequeno crescimento da manduirana possivelmente está relacionado ao solo e à origem das sementes, a mesma região de onde foram trazidas as sementes da leucena. De acordo com MINEROPAR (1986), o material de origem faz parte da Formação Serra Geral, indicando adaptação a solos mais férteis que o solo incidente na área de estudo. O elevado índice pluviométrico da região litorânea do Paraná, superior aos índices da região norte do Estado, e das regiões onde a manduirana ocorre naturalmente, também pode ser considerado como mais um fator que concorreu para a produção obtida, aliando-se às condições de solo.

Percebe-se, com apoio da Tabela 1, que o solo em questão não favorece o desenvolvimento de micorrizas por seu pH e pelos teores de Mn^{+2} e de Al^{+3} . Por não ser objetivo deste trabalho, não houve avaliação da presença de micorrizas. Porém, considerando os trabalhos de SAGGIN-JÚNIOR *et al.* (1998), POUYÚ e SIQUEIRA (1998) e SILVEIRA (1992), pode-se esperar uma possível ausência de micorrizas no ambiente do presente estudo, contribuindo para uma limitação nas produções de biomassa da aleluieira, leucena e manduirana. Recomenda-se, então, novos estudos para a verificação da capacidade dos fungos micorrízicos em proporcionar um aumento na produção de matéria seca, nas espécies simbiontes.

Da mesma forma que o ingá apresentou baixa sobrevivência e baixo crescimento em altura, sua produção de biomassa foi muito baixa, em ambas as podas.

Também para a aleluieira, alerta-se para a questão da origem das sementes, pois embora a aleluieira seja uma espécie autóctone, devido à época da implantação do experimento, não havia disponibilidade de sementes na região. As sementes foram trazidas de Terra Boa - PR, tais como as sementes da leucena, cujos principais solos incidentes na região estão acima citados. Logo, mesmo a aleluieira tendo apresentado os melhores resultados, quanto à produção de biomassa, esta poderia ser maior, se utilizadas sementes de indivíduos adaptados à região.

Considera-se a importância de novas avaliações da biomassa, ou seja, da produção de material para fins de utilização como cobertura morta, já que esta espécie apresentou a rusticidade que não foi observada nas demais espécies analisadas (menor ataque de formigas, maior sobrevivência até a 1ª e 2ª podas, maior altura e maior produção de biomassa). Convém lembrar, que esta espécie demonstra ampla dispersão natural na região, tendo sido observada sua ocorrência espontânea na área do experimento durante o decorrer do projeto. Como consequência, outra característica importante desta espécie é a facilidade de obtenção de material para sua propagação.

5.5 ASPECTOS MORFOLÓGICOS DAS ESPÉCIES AVALIADAS

De acordo com o Anexo 4, a aleluieira apresentou, na 1ª poda, 39,4% de biomassa foliar (folhas+pecíolos), em relação à biomassa total e 47,6% na 2ª poda. A flemíngia apresentou 57,9% de folhas na 1ª poda e 49,7% na 2ª poda. A manduirana obteve 53,3% de folhas na 1ª e 61,8% na 2ª. Estes mesmos índices para o ingá foram de 89,9% e de 85,6%, na 1ª e na 2ª poda, respectivamente.

GICHURU e KANG (1989) encontraram para a *Calliandra calothyrsus* (Meissn.), na Nigéria, uma proporção de 33,2% de material não lenhoso podado. YAMOAH *et al.* (1986) encontraram, para a *Flemíngia congesta*, uma proporção de 22,3% de material não lenhoso, em uma primeira poda, após 2 anos de plantio a campo.

Portanto, percebe-se que a proporção de folhas da aleluieira satisfaz a uma das características desejadas no componente lenhoso dos sistemas agroflorestais, preconizadas por RACHIE (1983).

As demais espécies também mostraram alta proporção de folhas, em relação aos ramos, porém, deve-se considerar que a limitada produção de biomassa da parte aérea prejudica a avaliação deste fator. Pois, principalmente no caso do ingá, em que quase não houve crescimento, a falta de produção de ramos é que causou a predominância das folhas, em termos de proporção. Entretanto, a proporção folhas/ramos encontrada para a flemíngia, no verão, já não se deve a limitações no crescimento dos ramos, visto que sua produção de ramos finos no verão foi 4,2 vezes maior que a produção do inverno, enquanto a produção de folhas aumentou apenas 3,2 vezes. Considera-se, ainda, que no verão ocorreu a produção de ramos grossos, ausentes na primeira poda.

5.6 A DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA

Os resultados de perda de matéria seca dos tecidos foliares (Anexo 5), aliados aos dados de teores de carbono e nitrogênio (Anexo 9), mostraram que a maior velocidade de decomposição da manduirana e a menor velocidade do ingá não foram conseqüências da concentração de N, nem da relação C/N (Anexo 11). Embora TAYLOR *et al.* (1989) tenham relatado que a concentração de N, ou mais freqüentemente, a relação C/N tem sido considerada como de importância crítica para o controle da taxa de decomposição dos resíduos vegetais. SCHLESINGER e HASEY (1981) e MOORE (1984) apontam para a influência da concentração de P ou da relação C/P, fatores que também não demonstraram influência no presente estudo (Anexos 9 e 12).

Partiu-se, então, para outros fatores como o teor de lignina e a relação lignina/nitrogênio - LIG/N - (Anexo 13). Percebeu-se que a baixa concentração de lignina e a baixa relação LIG/N, provavelmente, pode ter influenciado a rápida decomposição da manduirana, independentemente de sua relativamente elevada

relação C/N. Porém, a decomposição mais lenta do ingá não pode ser explicada pelas concentrações iniciais de N, de P e de lignina, tampouco pelas relações iniciais C/N, LIG/N e C/P, pois os valores encontrados para o ingá ocuparam posições intermediárias e/ou equivalentes entre as espécies analisadas. Vale ressaltar, que as espécies analisadas apresentavam teores iniciais de lignina <20% e, conforme TAYLOR *et al.* (1989), a razão LIG/N só é importante para a determinação da taxa de decomposição quando o teor inicial de lignina está acima de 25%.

TAYLOR *et al.* (1989), comparando a decomposição até 2 e até 4 meses, em uma floresta temperada (50°02'N e 115°03'S), concluíram que, ao longo da decomposição, a influência do teor de N diminui, enquanto aquela do teor de lignina aumenta. E indicaram que tal teoria abrange uma grande amplitude de qualidade de resíduos (algumas excedendo 25% de lignina e outras com teores menores que 10%).

No presente trabalho, a flemíngia, que apresentou maior teor de N foliar, no inverno, teve sua concentração diminuída até 55 dias, liberando N quase na mesma velocidade da perda de matéria seca (Anexos 5 e 9, Figuras 11 e 23). Entre 55 e 90 dias, verifica-se uma mudança na curva da liberação de matéria seca (Figura 11), provocada por uma diminuição em seu percentual de perda. Já a curva da liberação de N (Figura 23) mostra uma mudança de direção, resultado de um aumento na concentração de N, em relação àquela inicial.

No inverno, as curvas da concentração de N foliar da manduirana e da aleluieira, principalmente, exibiram direções ascendentes (Figura 15). Assim, a manduirana, apesar de ter apresentado curvas de perdas de matéria seca (Figura 11) e de N (Figura 23) semelhantes, acumulou este elemento (a concentração de N passou de 22,3 para 24,5 g.kg⁻¹), confirmando a importância do mesmo, nesta fase do processo, de acordo com MOORE (1984). Seguindo o mesmo princípio, a aleluieira, com um teor de N menor, não liberou este elemento, no período compreendido até 55 dias, quando sua concentração variou de 18,1 para 23,5 g.kg⁻¹ e mostrou pequena redução até 90 dias, com seu teor de N atingindo 22,6 g.kg⁻¹ (Anexo 9). Ao mesmo tempo, ocorreu perda de matéria seca - 23,9% - durante todo o processo, podendo-se inferir que a imobilização do N foi um dos mecanismos que garantiu a ação dos microrganismos decompositores (Anexo 5).

O ingá, teve sua concentração de N foliar variada de 22,3 para 20,2 g.kg⁻¹, até 55 dias de decomposição, e para 21,0 g.kg⁻¹, aos 90 dias de decomposição, no inverno (Anexo 9). Por outro lado, percebe-se que sua perda de matéria seca foi a menor, entre as espécies avaliadas (Anexo 5). Sua liberação de N (24,3%) equiparou-se tanto com a aleluieira (20,3%), quanto com a flemíngia (32,1%), revelando uma diluição do N nos tecidos foliares do ingá, acompanhada de uma redução no processo de decomposição.

Assim, no inverno, as perdas de matéria seca apresentaram boa correlação com a liberação de N foliar para o ingá ($r=0,93$), para a flemíngia ($r=0,91$) e para a manduirana ($r=0,99$) e não para a aleluieira ($r=0,69$), conforme Anexos 14-17. Pode-

se associar a liberação de N foliar do ingá à limitação em sua perda de matéria seca. Inversamente, a imobilização de N da aleluieira constituiu-se em um mecanismo facilitador de sua decomposição foliar. Do mesmo modo, os ramos grossos da manduirana, no inverno, liberaram N, em detrimento da perda de matéria seca (Anexo 7).

No verão, apenas o ingá não mostrou boa correlação entre a perda de matéria seca e a liberação de N foliar (Anexos 14-17), o que pode ser devido a um retardamento no processo de decomposição. Conforme o Anexo 5, depreende-se que, aos 90 dias, apenas 4% de sua matéria seca havia sido decomposta.

Ao analisar a Figura 15, percebe-se que, no verão, a tendência de aumento na concentração de N nas folhas, no decorrer da decomposição, ocorreu para todas as espécies, mais acentuadamente para a manduirana e flemíngia, até os 55 dias, e mais uniformemente para a aleluieira e o ingá, em todo o período avaliado.

O teor foliar de N da aleluieira foi significativamente mais elevado no verão do que no inverno e pode ter influenciado sua mais rápida liberação na segunda poda, possivelmente, deixando de ser limitante para a decomposição. Porém, não causou diferença na taxa de perda da matéria seca. Reitera-se que TAYLOR *et al.* (1989) e MELILLO *et al.* (1982) sugeriram que as relações de dependência do teor inicial de N na velocidade de decomposição dos resíduos estavam associadas a condições nas quais o N era limitante.

Percebe-se que os resultados de MACLAUGHERTY *et al.* (1985) diferiram do presente trabalho, no tocante ao valor limitante a partir do qual o substrato passa a requerer N exógeno. Ressalta-se que a espécie considerada mais pobre em N, por MACLAUGHERTY *et al.* (1985), apresentou um teor de N inicial de 0,9 g.kg⁻¹ e nas demais espécies os teores variaram de 4,4 a 8,3 g.kg⁻¹ e que o tempo total de acompanhamento da decomposição foi de 2 anos.

No verão, todas as espécies mostraram tendência de aumento no teor foliar inicial de lignina, comparando-se ao inverno (Anexo 10), enquanto a média no verão foi de 14,1%, no inverno foi de 7,9%. Houve, também, modificações em seus teores iniciais de N foliar: a aleluieira e o ingá tiveram as concentrações iniciais aumentadas e na flemíngia houve uma tendência à redução (esta variando de 30,1 g.kg⁻¹ a 26,1 g.kg⁻¹, sem diferença significativa). Ao mesmo tempo, houve diferenças nas taxas de liberação de N entre as épocas, a exceção da manduirana. Este comportamento está de acordo com a sugestão de MASON (1980) de que, nas regiões tropicais, a decomposição é mais influenciada pela qualidade do material, do que pelo clima. Ressalta-se, ainda, que fatores relacionados à fauna edáfica poderiam ter concorrido para uma decomposição mais rápida no verão e para um aumento das taxas de liberação de N e de P (SCHLESINGER; WARING, 1985; HOOVER; CROSSLEY JUNIOR, 1995). Outra particularidade é que na poda do verão, o material apresentava, no máximo 7 meses de idade, logo, seria de se esperar que contivesse compostos menos resistentes à decomposição (VANLAUWE *et al.*, 1997).

Um retardamento na decomposição do ingá, no verão, pode ter sido causado pelos altos teores de lignina, atingindo 18,1%. Contudo, este valor está abaixo do limite de 25% de lignina, proposto por HENROT e BRUSSAARD (1997). Em contraposição, a aleluieira também apresentou teores de lignina equivalentes aos do ingá e sua decomposição foi significativamente mais rápida. Considerando que os compostos fenólicos, além de possuírem ligações mais resistentes à degradação, são tóxicos para os artrópodos, conforme apontado por HOOVER e CROSSLEY JUNIOR (1995), pode-se sugerir que não só a lignina esteja associada à redução da fauna e ao retardamento da decomposição. Logo, outros compostos fenólicos poderiam estar afetando o processo de decomposição do ingá.

Contrariamente à resistência oferecida pela lignina à degradação, pode-se sugerir que sua carência facilitaria o processo, justificando a velocidade de decomposição da manduirana. Considerando, ainda, que a decomposição é o curso natural dos materiais que perdem a capacidade própria de sustentabilidade e cujo impedimento só há na presença de fatores significativamente limitantes. Neste caso, pode-se sugerir que a composição química da manduirana, embora não possa ser considerada de alto valor nutricional, não atinge valores críticos capazes de prejudicar a atividade dos organismos decomponentes.

Vale ressaltar que LEME *et al.* (1994) encontraram, para o ingá (*Inga sessilis*) teores de taninos (compostos polifenólicos) de 9,91% e 3,34%, no outono (mês de abril) e na primavera (mês de setembro), respectivamente. Para a manduirana (*Senna speciosa*), tais teores foram de 3,23 e 2,81%, no outono (mês de abril) e na primavera (mês de outubro), respectivamente. Os autores citados verificaram que a *Senna multijuga* apresentou 9,35% de taninos no outono (mês de março). Assim, percebe-se que o ingá e a aleluieira podem apresentar teores de polifenóis limitantes aos organismos decompositores e, por conseguinte, à decomposição. Por outro lado, possivelmente, baixos níveis de compostos limitantes à decomposição, na manduirana, podem favorecer tal processo.

ABER e MELILLO (1980, *apud* MELILLO *et al.*, 1982) demonstraram que a decomposição pode ser descrita por uma relação linear inversa entre a porcentagem remanescente da massa original e a concentração de nitrogênio do material residual, excluídas as rápidas perdas iniciais devidas à lixiviação dos compostos solúveis. Analisando-se os Anexos 5 e 9, percebe-se que nem sempre esta teoria foi confirmada: o ingá foi a espécie menos sujeita à decomposição em ambas as épocas, no entanto, no inverno esta espécie mostrou a menor concentração de N, ao final dos 90 dias de decomposição e no verão, sua concentração foi a maior. A manduirana não apresentou maior concentração em nenhuma das épocas, a despeito de sua maior perda percentual de matéria seca.

A relação encontrada por MELILLO *et al.* (1982), indicando que quanto maior a concentração inicial de lignina, maior a quantia de nitrogênio imobilizado por unidade de carbono liberado, foi parcialmente detectada no presente estudo. No inverno, a manduirana, com 4,3% de lignina, apresentou menos nitrogênio imobilizado por

unidade de carbono liberado (razão de 0,06). O ingá, com 7,6% de lignina, imobilizou maior quantia de N por unidade de C respirado (razão de 0,13). Entretanto, na flemíngia, também com 13% de lignina, tal razão foi de 0,10. A aleluieira ocupou uma posição intermediária, com 6,8% de lignina e razão $N_{\text{imobilizado}}/C_{\text{liberado}}$ ($N_{\text{im}}/C_{\text{lib}}$) de 0,09. Provavelmente, deve ter tido influência para o resultado da flemíngia, seu elevado teor de N, comparativamente às espécies analisadas, e sua baixa relação C/N. No verão, a aleluieira, com 18,1% de lignina, apresentou uma relação $N_{\text{im}}/C_{\text{lib}}$ de 0,13 e na manduirana (5,2% de lignina) tal relação foi de 0,04. Para os ramos finos e ramos grossos esta teoria não se confirmou.

Sugere-se que nos materiais em que houve decomposição mais acelerada, mesmo com teores de lignina variáveis - ora menores, ora equivalentes - razões C/N superiores e teores de N inferiores, como é o caso da aleluieira, comparada ao ingá, o determinante pode ter sido a maior presença de compostos solúveis. Isto poderá ser confirmado ou não, com novas investigações. Estes compostos, de acordo com STOTT e MARTIN (1990), podem ser os açúcares, aminoácidos, piridinas e ácidos alifáticos, os quais são metabolizados em algumas horas ou dias após adicionados ao solo. A maioria dos resíduos de carbono de substratos rapidamente degradáveis está associada aos peptídeos e polissacarídeos, a porção primária do C residual da lignina está associada às moléculas aromáticas.

Outro fator que pode ter contribuído para a mais rápida decomposição da aleluieira, em comparação ao ingá, é de natureza física, ou seja, o tamanho de seus folíolos, bem menores do que os do ingá. Considerando que nas primeiras etapas de decomposição ocorre a degradação física, com a fragmentação do material, a aleluieira já apresenta inicialmente uma constituição mais adequada ao processo. A rigidez das folhas do ingá pode ter contribuído para sua característica mais recalcitrante, pois MASON (1980) afirma que as folhas rijas são presumivelmente mais impermeáveis ao ataque de fungos e, certamente, consumidas menos prontamente pelos animais.

Da mesma forma que não se identificaram compostos determinantes da velocidade de decomposição para as folhas, tal determinação também não foi possível para os ramos. As relações propostas por MELILLO *et al.* (1982) não se verificaram, sendo em alguns casos prejudicadas pelas poucas perdas ocorridas. Novamente, a manduirana apresentou menores concentrações de lignina e maiores perdas percentuais de matéria seca e de carbono. Contudo, no verão, a velocidade maior de perda foi mantida, a despeito do aumento da concentração de lignina dos ramos grossos.

Embora sem análise de significância, percebe-se uma tendência crescente nos teores de lignina das folhas para os ramos, no inverno, sem distinção entre ramos finos e grossos, à exceção da manduirana, a qual manteve, nos ramos finos, um valor abaixo de 10%. No entanto, no verão, devido à elevação dos teores foliares de lignina para a aleluieira, a flemíngia e o ingá, não se percebeu mais a tendência de aumento de um órgão para outro. Para a manduirana tal aumento foi constatado nos

ramos grossos, permanecendo os ramos finos com percentuais de lignina similares aos foliares.

Denota-se que, mesmo tendo os ramos grossos da manduirana apresentado, no verão, uma porcentagem de lignina muito próxima à da flemíngia (17% para a manduirana e 17,1% para a flemíngia) e superior à da aleluieira (10,1%), as perdas de matéria seca, de C e de P foram significativamente mais rápidas, tanto aos 90, quanto aos 120 dias para a manduirana. A pequena liberação de N foi equivalente entre as espécies analisadas, provavelmente pela utilização deste elemento pelos organismos decomponentes.

A ordem, entre as espécies, das perdas de matéria seca pelos ramos finos foi semelhante, àquela verificada para a decomposição das folhas: maior percentual de decomposição na manduirana, menor percentual de decomposição no ingá e percentuais intermediários na aleluieira e na flemíngia (Anexos 5 e 6). No inverno porém, o percentual remanescente dos ramos finos do ingá não apresentou diferença com relação aos percentuais da flemíngia e da manduirana. A flemíngia e o ingá demonstraram aumentos nos percentuais de perdas de matéria seca no verão, comparativamente ao inverno. Embora a manduirana e aleluieira não tenham apresentado diferenças estatísticas, comparando-se inverno e verão, a aleluieira exibiu um aumento de 14,1% e a manduirana de 10,5 pontos percentuais, nas suas perdas de matéria seca, no verão. Analisando-se os teores de N, P e lignina (Tabelas 5 e 7 e Anexo 10), constatam-se poucas diferenças entre a composição dos ramos finos, no inverno e no verão, concluindo-se que para este tipo de material e no ambiente do estudo, a influência do clima pode ser significativa, considerando o período de decomposição avaliado. Verifica-se que este materiais continham teores iniciais de lignina acima 10% e teores de N abaixo de $1,3 \text{ g.kg}^{-1}$. Percebe-se, ainda, que foi pequeno o período de avaliação para os ramos finos no inverno, com o registro de pequenos percentuais de decomposição.

Na decomposição dos ramos grossos, no inverno, a ordem foi diversa daquela apresentada para as folhas e ramos finos, passando o ingá a exibir a maior velocidade de perda de matéria seca (Anexo 7). No verão, a manduirana, novamente, apresentou o maior percentual de perda de matéria seca. A manduirana e a aleluieira – as únicas espécies que apresentaram crescimento suficiente para serem podadas no inverno e no verão – revelaram aumentos significativos nas perdas do verão, comparativamente ao inverno. Embora tenha ocorrido, na aleluieira, uma variação, da primeira para a segunda poda, de 14,9 para 10,1% no teor de lignina e um aumento significativo no teor de P, o que poderia facilitar sua decomposição, para a manduirana as diferenças em sua composição química poderiam supor um retardamento do processo de decomposição no verão, comparado ao inverno. Através das Tabelas 6 e 7 e do Anexo 10, percebe-se, na manduirana, uma redução significativa nos teores de N e de P e uma variação de 12,6 para 17,0% no teor de lignina. Portanto, novamente, estas espécies com teores de N abaixo de $1,3 \text{ g.kg}^{-1}$ e teores de lignina acima de 10%, responderam aos aumentos da temperatura e da precipitação, nas condições estudadas.

Comparando-se as perdas de matéria seca dos ramos finos (Anexo 6) com as perdas dos ramos grossos (Anexo 7), percebe-se que, mesmo até 90 dias – período em que os ramos finos foram avaliados – os ramos grossos mostraram maiores perdas de matéria seca. Vale lembrar, que apesar da pouca decomposição estes resultados podem estar mascarados pela contaminação por partículas minerais e resíduos orgânicos, decorrentes da metodologia, e que podem ser maiores nos ramos finos que nos ramos grossos, em função de sua maior superfície de contato, por massa de material.

5.7 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO

A aleluieira, espécie que se destacou significativamente na produção de biomassa foliar, entre as demais analisadas, revelou uma produção de biomassa foliar de 569,6 kg.ha⁻¹ no inverno e 760,8 kg.ha⁻¹ no verão (Anexo 4), portanto, atingiu 1330,4 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. Desta maneira, baseado no Anexo 9, conclui-se que sua produção de nitrogênio foi de 10,3 kg.ha⁻¹ no inverno e de 18,6 kg.ha⁻¹ no verão, totalizando 28,9 kg.ha⁻¹.ano⁻¹. As demais espécies obtiveram produções menores: a flemíngia totalizou 6,0 kg.ha⁻¹.ano⁻¹, a manduirana, 5,0 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ e o ingá 4,5 kg.ha⁻¹.ano⁻¹ (Anexos 4 e 9).

Percebe-se que no presente experimento, a aleluieira - planta não fixadora de N - superou as fixadoras, na acumulação de N, embora não em seus teores, porém em sua quantidade total.

Aproveitando os dados das tabelas 6, 8, 10, (Anexos 4, 5 e 9), denota-se que até 90 dias de decomposição, no inverno, as folhas da aleluieira seriam capazes de liberar ao sistema 2,1 kg.ha⁻¹ de N. No verão, considerando o mesmo período de decomposição, a liberação seria de 4,3 kg.ha⁻¹ de N. Acrescentando-se o N liberado, no mesmo período, pelos ramos grossos e finos, o montante atinge 4,2 no inverno e 4,4 no verão (Anexos 4, 6, 7 e Tabelas 5 e 6).

Os ramos finos contribuíram com 30% do N total liberado e 23,3% do N total produzido, no inverno. A participação dos ramos finos no montante de N liberado no verão foi prejudicada, provavelmente pela contaminação do material e/ou porque houve imobilização de N, porém sua participação na produção total de N foi de 11,9%. A contribuição de N dos ramos grossos foi de 19,5% do total liberado e 14,9% do total produzido no inverno. No verão, tal participação equivaleu a 3,2% do total liberado e de 6,2% do total acumulado. Portanto, pode-se sugerir que os ramos grossos da aleluieira seriam melhor aproveitados para recobrimento e, principalmente, aumento da rugosidade do solo, objetivando o controle da erosão, já que sua contribuição em termos de nutrientes é pequena.

Considerando que a aleluieira foi a planta que primeiramente se estabeleceu, requerendo menor número de plantas a serem replantadas, pode-se supor que à época da 1ª poda, suas folhas fossem aquelas de maior idade de todo o experimento. Logo, o aumento do teor de N, do verão com relação ao inverno, seria

fruto da maior proporção de folhas novas no verão. Nesta linha de raciocínio, o teor de N obtido no inverno seria subestimado, em relação ao que se encontraria em um sistema agroflorestal em pleno funcionamento. Pois então, a frequência de podas não permitiria a permanência de folhas de mais idade.

A flemíngia destacou-se pelo alto teor de N foliar, no inverno ($30,1 \text{ g.kg}^{-1}$, Anexo 9) o qual, mesmo tendo apresentado uma tendência à diminuição no verão, ainda permaneceu elevado, relevando a importância de novos estudos para um aproveitamento do seu potencial. O ingá apresentou teor de N foliar equivalente ao da manduirana, no inverno, porém destacou-se no verão, chegando a $30,4 \text{ g.kg}^{-1}$ (Anexo 9). Desta forma, percebe-se que, para esta espécie, também se justificam futuras avaliações.

Tendo em vista a baixa produção de massa seca foliar da flemíngia, $194,7 \text{ kg.ha}^{-1}$, mesmo com um teor considerável, $26,1 \text{ g.kg}^{-1}$, a produção total de N foliar no verão, foi de $5,8 \text{ kg.ha}^{-1}$. A produção no inverno foi menor, pois, apesar da concentração de N ter sido mais elevada ($30,1 \text{ g.kg}^{-1}$), a biomassa produzida apresentou valores menores (Anexos 4 e 9).

Percebe-se que, assim como na aleluieira, nas demais espécies estudadas é mantida a tendência dos ramos grossos pouco representarem em termos de acréscimos de N. Até mesmo para a manduirana, cuja decomposição mostrou-se muito rápida. No tocante aos ramos finos, observou-se uma tendência destes participarem com percentuais mais substanciais na produção total de N, justificando sua contribuição tanto para a ciclagem de nutrientes, quanto para a cobertura do solo.

5.8 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DO FÓSFORO

Para a aleluieira, a acumulação total de fósforo foliar foi de $0,75 \text{ kg.ha}^{-1}$, no inverno e de $0,60 \text{ kg.ha}^{-1}$, no verão, totalizando $1,35 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (Anexos 4 e 9). Associando-se estes dados aos dados do Anexo 5, aos 90 dias de decomposição, no inverno, a liberação de P seria de $0,33 \text{ kg.ha}^{-1}$ e no verão, de $0,4 \text{ kg.ha}^{-1}$. As demais espécies analisadas apresentaram acumulações menores devido à baixa produtividade, entretanto, os teores foliares de P não possibilitam o acúmulo de grandes quantidades na biomassa da parte aérea destas plantas, salvo em casos de produtividades muito elevadas. Percebe-se que a flemíngia obteve teores de P mais elevados nas duas épocas avaliadas, contudo insuficiente para a obtenção de quantias capazes de suprir a demanda de culturas agrícolas comuns no Litoral do Paraná, como a mandioca, o milho e a banana (OLEYNIK *et al.*, 1998).

Por exemplo, considerando-se um solo com níveis baixos de P e uma produtividade de milho, em torno de 3500 kg.ha^{-1} (uma expectativa até otimista, em termos de pequeno agricultor da região), seriam necessários 20 kg.ha^{-1} de P_2O_5 (MUZILLI *et al.*, 1980), ou seja, $8,8 \text{ kg.ha}^{-1}$ de P. Seria necessário que a flemíngia produzisse 5641 kg.ha^{-1} de massa seca foliar, para que alcançasse tal produção. No

entanto, isto não significaria a liberação do montante de P pretendido. Analisando-se o Anexo 5, verifica-se que, até 90 dias de decomposição, as folhas da flemíngia liberaram em torno de 50% do seu conteúdo de fósforo, tanto no inverno, quanto no verão. Isto significaria que a produção foliar deveria ser o dobro do valor acima citado, para poder suprir a cultura do milho. No inverno, praticamente não houve liberação de P pelos ramos finos, contudo, no verão, tal liberação atingiu 68%. Neste caso, com uma projeção otimista, não haveria necessidade de aumentar o valor acima calculado. Note-se que estes cálculos não consideram perdas (para fora do sistema), tampouco reabsorção pelo componente arbóreo.

A produção calculada acima, no entanto, não é impossível visto que PERIN *et al.* (1996) conseguiram, para a *F. congesta*, no segundo ano de um plantio experimental uma produção de 67.948 kg.ha⁻¹ de matéria seca, para uma densidade de 40.000 plantas.ha⁻¹, o que corresponde a uma produtividade de 8493,5 kg.ha⁻¹, para uma densidade de 5000 plantas.ha⁻¹, como é o caso do presente estudo e usual nos sistemas de *alley cropping*.

A compreensão da predisposição de um elemento em ser liberado dos tecidos em que se situam, pode ser orientada a partir da função deste nutriente nos órgãos em que se encontram. Considerando a localização e funções do P nos tecidos vegetais (SCHLESINGER; WARING, 1985; MENGEL; KIRKBY, 1987; MARSCHNER, 1993), percebe-se que a maior parte do P não está ligado a compostos recalcitrantes, logo, não havendo limitação no meio, sua liberação ocorre, com determinada facilidade, após a decomposição do substrato.

Associando a predominância do P no RNA contido nas bactérias (TSAI; ROSSETO, 1992), pode-se sugerir que esta é a razão para a pouca imobilização do P verificada. Vale ressaltar, que foram constatadas semelhanças entre as curvas de perda de matéria seca e de P foliar, o que conduziu a uma análise de correlação, cujo resultado foi $r=0,83$, caracterizando uma boa correlação. Este resultado está de acordo com LUNA-OREA *et al.* (1996) os quais também verificaram que a liberação de P dos tecidos foliares estava diretamente relacionada com a perda de sua matéria seca.

As relações C/P das 4 espécies avaliadas mantiveram-se acima do valor 230/1 (Anexo 12), proposto por LOUSIER e PARKINSON (1978), como máximo para que a liberação de P possa ocorrer. Não obstante, a liberação do P foliar procedeu-se, tendo havido imobilização de P apenas durante a decomposição dos tecidos foliares da aleluieira, no verão, quando seu teor foi significativamente mais baixo que os demais encontrados, podendo esta imobilização estar associada à carência do P para os organismos decomponentes (Anexos 5 e 9). A liberação do P, mesmo com elevados valores para C/P, está de acordo com LUNA-OREA *et al.* (1996), que coincidentemente não obteve relações C/P menores que 230/1, embora tenha verificado mineralização de P. Vale lembrar, que TSAI e ROSSETO (1992) também discutiram a imobilização do P pela população microbiana do solo e as influências das relações C/P.

Algumas relações entre os valores C/P e a taxa de liberação deste elemento, foram constatadas (Anexos 5 e 12): a flemíngia apresentou a menor relação C/P e a mais rápida perda de P no inverno. A manduirana, todavia, exibiu a maior razão C/P, embora tenha sido verificado uma tendência à liberação mais rápida de P que no ingá e na aleluieira. Ressalta-se que não houve diferença significativa entre as razões C/P iniciais das espécies avaliadas. Isto pode ter contribuído para a ausência de diferença significativa entre os percentuais remanescentes de P das 3 espécies de liberação mais lenta (aleluieira, flemíngia e ingá) e para o comportamento das mesmas, no tocante às relações C/P e liberação de P.

A redução significativa do teor de P foliar na aleluieira, no verão, provocou um aumento significativo na razão C/P (em comparação ao inverno). Por conseqüência, a liberação, ao final do período analisado foi significativamente menor que para as demais espécies, não atingindo 5% do total inicial. Embora tenha havido acúmulo de P nas folhas de manduirana, no verão, até 55 dias de decomposição, mesmo assim, foi verificada uma perda de 40,4% de P (Anexo 5) e já aos 90 dias, percebeu-se uma diminuição no seu teor, passando o material a exibir concentrações menores que as iniciais.

Os ramos finos exibiram relações C/P maiores que as folhas, o que era esperado, por seus menores teores de P (Anexo 12 e Tabela 7). Verificou-se que também houve uma tendência a aumento da C/P, quando se compararam os ramos grossos com os finos (Anexo 12), resultado esperado devido às idades mais avançadas dos primeiros.

Embora, no inverno, as espécies não tenham diferido, significativamente, quanto a seus teores iniciais de P e suas relações C/P iniciais, nos ramos finos e nos ramos grossos, perceberam-se diferenças nas velocidades de liberação do P.

Denota-se, no entanto, que mesmo com uma relação C/P de 820, em seus ramos finos, a aleluieira, no inverno, liberou 45,2% de seu P inicial, mostrando tendência à redução de seu teor (Anexos 6 e 12 e Tabela 7). Aos 90 dias, apresentou uma pequena imobilização, com um ligeiro acréscimo em sua concentração, terminando o período de avaliação com uma perda de 41,8% em relação ao seu conteúdo de fósforo inicial. De acordo com os Anexos 7 e 12 e a Tabela 8, os ramos grossos da aleluieira, no inverno, demonstraram uma rápida liberação, mesmo com um pequeno teor de P inicial (e obviamente uma elevada relação C/P).

Verifica-se uma liberação rápida e uniforme na curva de perda de P dos ramos finos da manduirana, no inverno (Figura 20). Houve, no entanto, um aumento na concentração de P até os 55 dias de decomposição (Tabela 7), seguido de uma redução ao final dos 90 dias. A relação C/P manteve-se crescente (Anexo 12). Os ramos grossos comportaram-se de maneira diferente, mostrando apenas imobilização, com aumento nos teores e na relação C/P, tanto aos 90 dias, como aos 120 dias de decomposição. Embora não tenha sido efetuada uma comparação estatística entre os

teores iniciais dos ramos finos e grossos, percebe-se pouca diferença ($0,59 \text{ g.kg}^{-1}$ nos ramos finos e $0,52 \text{ g.kg}^{-1}$ nos ramos grossos).

No inverno, o ingá apresentou pequena liberação de P pelos ramos finos, limitando-se a 8,9% (até 90 dias de decomposição), de sua quantia inicial e revelando aumento em sua relação C/P, no entanto, o teor de P diminuiu ligeiramente no material remanescente (Anexos 6 e 12 e Tabela 7). A liberação de P pelos ramos grossos do ingá atingiu 27,8% de seu conteúdo inicial (aos 120 dias de decomposição), tendo apresentado aos 90 dias uma liberação de 18,9%, sua relação C/P mostrou comportamento crescente, e sua concentração mostrou tendência de imobilização até os 90 dias e após uma tendência de diminuição. Pode-se associar a maior persistência do P nos ramos finos do ingá, à menor perda de sua matéria seca (Anexo 6), comparada à perda de matéria seca dos ramos grossos (Anexo 7).

A flemíngia mostrou uma tendência de redução no teor de P dos ramos finos, ao final do período analisado, contudo não se constataram perdas de P (Tabela 7 e Anexo 6). A concentração de P, até 55 dias, passou de $0,62$ para $0,63 \text{ g.kg}^{-1}$, após esta fase, o teor diminuiu (Tabela 7).

No verão, a aleluieira exibiu valores muito baixos de P nos ramos finos e grossos, chegando a atingir o valor 0 nos ramos grossos. Também a flemíngia apresentou valor 0 em seus ramos grossos. Durante a decomposição observou-se acúmulo deste nutriente, mostrando a necessidade da microbiota em obtê-lo do meio quando o substrato não o disponibiliza.

A flemíngia mostrou uma rápida liberação do P dos ramos finos, no verão, provavelmente provocada pelo seu teor inicial significativamente mais elevado que os demais analisados (Anexo 6 e Tabela 7). O ingá exibiu o segundo maior teor inicial de P nos ramos finos, no verão, apresentando também uma liberação relativamente rápida deste elemento (Anexo 6 e Tabela 7).

A liberação de P nos ramos finos não se correlacionou com a liberação de matéria seca, nem com a relação C/P. Pode-se associar maiores percentuais de liberação de P pelos ramos finos, aos maiores teores iniciais de P ($r=0,80$). Já os ramos grossos apresentaram $r=0,50$, quando se correlacionaram a liberação de P com seus teores iniciais deste elemento, ao longo do processo de degradação, indicando uma pequena correlação.

5.9 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DO POTÁSSIO

As folhas da aleluieira, no inverno, produziram $3,1 \text{ kg.ha}^{-1}$ de potássio e no verão $6,3 \text{ kg.ha}^{-1}$ (Anexos 4 e 9). Já aos 55 dias de decomposição foram liberados $2,6 \text{ kg.ha}^{-1}$, no inverno e $5,8 \text{ kg.ha}^{-1}$, no verão (Anexo 5). Aos 90 dias, no inverno, o percentual liberado foi de 89,5%, ou seja, $2,8 \text{ kg.ha}^{-1}$ e no verão tal percentual foi de 95,3%, apontando para uma liberação de $6,0 \text{ kg.ha}^{-1}$. Denota-se pequena

contribuição da aleluieira, a qual pode ser associada à sua produtividade e ao seu teor inicial. No estudo de YAMOAHA *et al.* (1986) os teores variaram de 20,57 a 34,76 g.kg⁻¹ na *Flemingia congesta*, de 27,66 a 28,68 g.kg⁻¹ na *Gliricidia sepium* e de 11,51 a 25,61 na *Cassia siamea*. Não obstante, observa-se que YAMOAHA *et al.* (*op. cit.*) efetuaram adubação potássica. Portanto, a baixa concentração de K verificada pode ser resultado de sua limitação no solo.

A contribuição das demais espécies foi menor que a da aleluieira, devido às baixas produções obtidas. Contudo, os dados das concentrações de K em seus tecidos foliares também se apresentam mais baixos que os de YAMOAHA *et al.* (*op. cit.*).

A rápida taxa de liberação de K está de acordo com diversos autores (EDMONDS, 1980; SCHLESINGER; WARING, 1985; BUDELMAN, 1988b; BAHUGUNA *et al.*, 1990; LEHMANN *et al.*, 1995; LUNA-OREA *et al.*, 1996).

Percebeu-se que à exceção dos ramos finos da manduirana, aos 90 dias de decomposição, e dos ramos finos do ingá, houve uma maior liberação do potássio dos ramos finos e grossos no verão, comparada à do inverno (Anexos 6 e 7). Tendo em vista a característica abiótica da liberação do K (lixiviação), pode-se associar as diferenças na velocidade de decomposição, no inverno e no verão, à influência maior dos fatores físicos, caracterizada pelas temperaturas mais elevadas, bem como, maiores volumes de chuvas e com maiores intensidades.

Os ramos finos do ingá, no verão, foram os únicos substratos a revelarem imobilização de K, durante os 2 períodos analisados (Tabela 9). Reitera-se, também, que foi o material que apresentou o menor teor de K inicial, diferindo estatisticamente das demais espécies e de seu teor no inverno, o que pode ter resultado na conferida imobilização. SCHLESINGER e WARING (1985) afirmam que geralmente o K não é limitante para os organismos decomponentes, por isto sua fácil liberação. No presente caso, provavelmente, o K era limitante para tais organismos. Não se descartam, também, influências por contaminação do material.

5.10 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DE CÁLCIO E DE MAGNÉSIO

Aproveitando os dados dos Anexos 4 e 9, as produções de cálcio (Ca) e de magnésio (Mg) pelas folhas da aleluieira foram de 10,21 kg.ha⁻¹ e de 2,07 kg.ha⁻¹, no inverno e de 6,84 kg.ha⁻¹ e de 2,50 kg.ha⁻¹, no verão, respectivamente. No inverno, houve uma transferência de Ca de 5,30 kg.ha⁻¹, das folhas para o sistema, já no verão, esta transferência restringiu-se a 27,36 g.ha⁻¹ (Anexo 5). As perdas de Mg foram de 1,01 kg.ha⁻¹ no inverno e de 0,94 kg.ha⁻¹ no verão (Anexo 5). As produções das demais espécies atingiram valores menores devido à baixa produtividade.

Reitera-se que SCHLESINGER e WARING (1985) consideram que pode haver imobilização de Ca nos tecidos dos fungos. Esta imobilização foi verificada, no

presente trabalho, com uma tendência a ocorrer nos tratamentos que apresentaram os mais baixos teores de cálcio (Anexo 9). Comparando-se a liberação do cálcio foliar com as concentrações foliares de Ca (Anexos 5 e 9), verifica-se que a rápida liberação de Ca da aleluieira no inverno, pode estar associada ao seu elevado teor, tendo ocorrido o inverso no verão. O ingá e a flemíngia revelaram imobilização ou pequenas liberações, podendo ser associadas a teores iniciais mais baixos. A liberação de Ca da manduirana ocorreu nas duas épocas, embora as concentrações revelem baixos teores iniciais e uma tendência a um comportamento crescente de suas concentrações, ao longo do período de decomposição.

Nos ramos finos, órgãos com menores concentrações de cálcio que as folhas, também se verificou a ocorrência de imobilização, no inverno, à exceção da manduirana, cuja liberação atingiu quase 40% (Tabela 11 e Anexo 6). No verão, constatou-se pequena liberação no ingá, na flemíngia e na manduirana. Na aleluieira, verificou-se imobilização, a qual pode estar associada à redução significativa em seu teor comparado ao inverno.

Ressalta-se que tanto nas folhas, quanto nos ramos finos e grossos, a maior parte da liberação de Ca ocorreu até 55 dias de decomposição (Anexo 5, Tabelas 18 e 19).

O Anexo 5 denota rápida liberação do magnésio foliar, tendo sido verificado um $r=0,77$ na correlação entre a liberação do Mg com a perda de massa seca. Apenas o ingá, no verão, apresentou no início uma pequena liberação, seguida de imobilização, podendo-se verificar um aumento gradual em sua concentração, durante o período de decomposição (Anexo 9). Este comportamento possivelmente está relacionado à sua ínfima perda de matéria seca.

Para os ramos finos, a correlação, entre a liberação de Mg com a perda de matéria seca, foi menor ($r=0,62$), assim como, a taxa de liberação de Mg. A manduirana, no entanto, revelou percentuais de liberação próximos a 40%, no inverno, e 60%, no verão, logo, superiores a suas perdas de matéria seca (Anexo 6).

5.11 ACUMULAÇÃO E LIBERAÇÃO DE MICRONUTRIENTES

Há poucos trabalhos sobre acumulação de micronutrientes em sistemas agroflorestais, o que dificultou a discussão deste item.

Os micronutrientes presentes nas folhas da aleluieira totalizaram, no inverno, 204,4 g.ha⁻¹ de ferro (Fe), 531,5 g.ha⁻¹ de manganês (Mn), 17,7 g.ha⁻¹ de cobre (Cu) e 51,8 g.ha⁻¹ de zinco (Zn). No verão tal produção foi de 255,7 g.ha⁻¹ para o Fe, 627,6 g.ha⁻¹ para o Mn, 39,5 g.ha⁻¹ para o Cu e 65,1 g.ha⁻¹ para o Zn (Anexo 4, Tabela 15). Percebe-se que os valores de Mn, Cu e Zn estão acima dos registrados por SCHROTH *et al.* (1995) para a gliricídia, na Costa do Marfim. Embora não seja muito usual a comparação de teores entre espécies, vale lembrar a

existência de poucos dados na bibliografia disponível, bem como, a validade da comparação entre plantas utilizadas e potenciais para os sistemas agroflorestais.

Combinando os valores de micronutrientes acumulados nos tecidos vegetais da aleluieira com os percentuais de perdas registrados (Anexo 8), obtém-se potenciais de liberação destes nutrientes, aos 90 dias de decomposição, no inverno, de 279,0 g.ha⁻¹ para o Mn e 6,9 g.ha⁻¹ para o Zn. Não foram registradas perdas de Fe e de Cu, neste período. Aos 90 dias de decomposição, no verão, 52,6 g.ha⁻¹ de Mn foram liberados. Nota-se que SCHLESINGER e WARING (1985) mencionam que a liberação do manganês, dos tecidos vegetais em decomposição é relativamente rápida. Os demais nutrientes foram acumulados, durante o processo de decomposição, gerando aumentos nos percentuais remanescentes.

Reitera-se que LOUSIER e PARKINSON (1978) sugerem diversos fatores que justificam o aumento do ferro e do manganês, no material em decomposição.

Os teores foliares de Fe, Cu e Zn não diferiram entre as espécies e entre inverno e verão, para uma mesma espécie, apontando para pouca variação destes elementos, em termos de necessidade e de absorção pelas espécies estudadas (Tabela 15).

O processo de decomposição foliar, aos 55 e 90 dias, no inverno e no verão, mostrou ora acúmulo, ora pouca variabilidade na concentração dos micronutrientes. Todavia, difere-se deste comportamento a variação na concentração de cobre da manduirana, atingindo um aumento em torno de 100% em sua concentração, aos 55 dias de decomposição, no inverno e no verão (Tabela 15).

No período de decomposição avaliado, ocorreram reduções nos teores de Mn, dos ramos finos, bem como maiores percentuais de liberação deste nutriente, nas espécies com maiores concentrações iniciais: na manduirana, no inverno e no verão, e na aleluieira, no inverno (Tabela 16). Pode-se relacionar, então, tais reduções com a abundância do elemento.

Percebeu-se redução nos teores de cobre e de zinco dos ramos finos, aos 55 e 90 dias de decomposição, no inverno e no verão, em todas as leguminosas estudadas à exceção do ingá (Tabela 16). Este comportamento, sugere que estes elementos não foram limitantes, no processo de decomposição.

No inverno, detectaram-se consideráveis reduções nos teores de cobre e de zinco, dos ramos grossos (Tabela 17). Porém, no verão, não se configurou um comportamento comum para as espécies, apontando para uma diversidade na importância dos elementos, de acordo com o material em decomposição. Contudo, à exceção da aleluieira, no verão, houve rápida liberação de cobre e zinco dos ramos grossos, variando de 85,2 a 36,9% do total inicial, nos demais casos.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- er* A contribuição da aleluieira para a nutrição das culturas agrícolas intercalares, em um eventual sistema de cultivo em aléias, é pequena e insuficiente, em curto prazo, devido ao baixo acúmulo de nutrientes obtido em sua biomassa;
- er* a manduirana, a flemíngia o ingá e a leucena não demonstraram aptidão para a produção de biomassa nas condições do ambiente estudado, sem sejam adotadas práticas de manejo capazes de melhorar as condições para o desenvolvimento destas espécies, este comportamento confirmou as limitações da leucena em solos de elevada acidez, elevados níveis de alumínio trocável e baixos níveis de macronutrientes;
- er* o ingá revelou decomposição e liberação de N lentas, tanto no inverno quanto no verão, a despeito de sua baixa C/N;
- er* as relações C/P não foram, necessariamente, determinantes da liberação de P: a flemíngia apresentou a menor relação C/P e a mais rápida liberação de P no inverno, por outro lado, a manduirana exibiu a maior razão C/P, embora também com liberação rápida de P;
- er* houve uniformidade, entre as espécies, no processo de liberação de K e Mg das folhas no inverno, o que não ocorreu no verão;
- er* a aleluieira e a manduirana apresentaram ramos grossos tanto no inverno quanto no verão e mostraram, nestes ramos, maiores perdas de matéria seca e K no verão;
- er* nas condições deste trabalho, as relações C/N, C/P e lignina/N e os teores iniciais de N, P e lignina não foram, necessariamente, determinantes da perda de matéria seca;
- er* percebeu-se que limitações de N, P, K e Ca nos tecidos em decomposição, estiveram associadas à imobilização destes nutrientes;
- er* as limitações de N foram associadas a duas situações encontradas: ora a imobilização deste nutriente e a perda de matéria seca, ora a liberação do nutriente e retardamento da perda de matéria seca;
- er* limitações de P, no material em decomposição, estiveram associadas à redução em sua liberação, evidenciando imobilização de P pela microbiota, que não o libera enquanto utiliza este elemento, o qual é essencial para os organismos decomponentes;
- er* recomenda-se o estudo da aleluieira por períodos mais longos, tendo em vista a possibilidade da mesma em induzir a melhorias, ao longo do tempo, na fertilidade dos solos, em condições similares às estudadas, através da adição de matéria

orgânica, principalmente, para o nitrogênio, para o P, para o aumento da CTC e formação de complexos e quelatos, impedindo as perdas de nutrientes;

entendo em vista que, no presente estudo, o percentual de decomposição dos tecidos foliares da aleluveira atingiu um máximo de 36,3%, sugere-se o estudo de sua utilização como cobertura morta, podendo, desta forma, exercer importante papel no controle da erosão, evitando perdas no sistema;

recomenda-se a avaliação das espécies por um período maior, um estudo sobre épocas e intervalos de podas, bem como, a utilização de um número maior de plantas úteis, para compensar a alta variabilidade genética destas espécies;

a manduirana, a flemíngia e o ingá deveriam ser estudados em solos com níveis mais adequados de fertilidade natural ou com aplicação de corretivos, já que, ao contrário da leucena, as espécies citadas mostraram capacidade de sobrevivência e, até, de adaptação, mesmo que com pequenas produções de biomassa;

entendo em vista sua composição nutricional (considerável teor de N), sua lenta decomposição - atingindo uma perda máxima de 29,4% de seus tecidos foliares - o que é desejável para o controle da erosão e suas condições de ocorrência natural, recomenda-se o estudo do ingá em ambientes sombreados, tais como, em aléias intercalares à cultura da banana, comum em condições de solo com elevada declividade, no Litoral do Paraná;

recomenda-se o teste de um espaçamento menor entre plantas para *F. congesta*, tendo em vista seu hábito de crescimento - menor potencial de expansão lateral;

recomenda-se, ainda, a avaliação da composição química das leguminosas em diferentes épocas do ano e de idade das plantas, a fim de explicar se as diferenças detectadas nos teores iniciais de N, P, K e lignina são função da idade da planta ou da época de poda;

sugere-se períodos de avaliação da decomposição mais longos, principalmente, no que tange ao período utilizado para os ramos finos;

sugere-se que os ramos grossos, das leguminosas analisadas, sejam aproveitados para recobrimento e, principalmente, aumento da rugosidade da superfície do solo, ou em murunduns ou cordões de contorno, objetivando o controle da erosão, considerando que sua contribuição em termos de nutrientes é pequena e sua permanência no solo ocorre durante um tempo considerável;

sugere-se a análise dos teores de polifenóis, da população microbiana, da meso e da macrofauna do solo a fim de possibilitar que outras correlações possam ser feitas para explicar a velocidade de decomposição dos materiais analisados, considerando que tais componentes interferem no processo de decomposição;

er sugere-se a análise da ocorrência de micorrizas, tendo em vista que estas podem ser positivas ao desenvolvimento da aleluiera e da manduirana;

er o estudo da decomposição, neste trabalho foi importante para a orientação, quanto aos compostos e suas inter-relações, capazes de acelerar ou retardar o processo de decomposição dos substratos vegetais, bem como, indicações de períodos em que pode ocorrer a perda de matéria seca e mineralização dos nutrientes;

er o presente trabalho mostrou que são diversos os fatores que concorrem em um processo de decomposição, variando em sua importância, de acordo com as condições climáticas, microclimáticas (do local e do período analisados), composição química e suas proporções, nos diversos tecidos dos materiais em estudo, sendo sempre duvidoso assumir um só fator como constante e determinante da decomposição, para uma espécie ou grupo de espécies;

er percebe-se que a implantação do *alley cropping*, nas condições de solo e espécies estudadas, sem adição de nutrientes oriundos de fontes externas, não é capaz de prover aumentos na fertilidade do solo e induzir as espécies a atingir todo seu potencial produtivo, em curto prazo, porém este sistema pode diminuir a necessidade da adição de nutrientes, potencializando o efeito destes e diminuindo suas perdas através da ciclagem, bem como, não se pode descartar a possibilidade de melhores resultados, através de melhorias nos tratos culturais e de uma avaliação ao longo de um período maior.

ANEXOS

ANEXO 1 - SOBREVIVÊNCIA ATÉ 29 MESES DO PLANTIO A CAMPO (%).

| Espécie | Até 30 dias | Até 1ª poda | Até 2ª poda | Ago/98 |
|------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Aleluieira | 50,0 | 96,7 | 96,7 | 70,0 |
| Flemíngia | 86,7 | 90,0 | 90,0 | 30,0 |
| Manduirana | 46,7 | 90,0 | 90,0 | 83,3 |
| Ingá | 80,0 | 70,0 | 70,0 | 66,7 |
| Leucena | 60,0 | 66,7 | 66,7 | 26,7 |

ANEXO 2. ALTURA MÉDIA DE 5 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (cm).

| Espécie | INVERNO | VERÃO |
|------------|---------|----------|
| Aleluieira | 173,8aA | 207,8aA |
| Flemíngia | 87,9aB | 147,7bAB |
| Manduirana | 55,8aB | 102,5aBC |
| Ingá | 41,6aB | 61,2aCD |
| Leucena | 21,3aB | 21,1aD |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies. Análise feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ANEXO 3. UMIDADE DA BIOMASSA (PARTE AÉREA PODADA) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (%).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | MAIO/97 | DEZEMBRO/97 |
|------------|---------------------------------------|---------|-------------|
| Aleluieira | biomassa total | 54,7 | 63,1 |
| Flemíngia | | 65,6 | 69,8 |
| Manduirana | | 64,6 | 68,5 |
| Ingá | | 60,5 | 65,2 |
| Aleluieira | biomassa foliar | 58,2 | 67,3 |
| Flemíngia | | 67,0 | 71,0 |
| Manduirana | | 63,5 | 70,2 |
| Ingá | | 58,9 | 64,6 |
| Aleluieira | biomassa dos ramos finos (< 1,0 cm) | 49,8 | 59,3 |
| Flemíngia | | 66,4 | 69,5 |
| Manduirana | | 53,1 | 69,4 |
| Ingá | | 70,6 | 67,9 |
| Aleluieira | biomassa dos ramos grossos (≥ 1,0 cm) | 48,9 | 56,7 |
| Flemíngia | | - | 62,4 |
| Manduirana | | 60,0 | 59,8 |
| Ingá | | 48,9 | - |

ANEXO 4. BIOMASSA (PARTE AÉREA PODADA) DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, EM DUAS ÉPOCAS DO ANO (kg.ha⁻¹).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | MAIO/97 | DEZEMBRO/97 |
|------------|--|-----------|-------------|
| Aleluieira | biomassa total | 1446,8 aA | 1599,6aA |
| Flemíngia | | 106,3aB | 391,8aB |
| Manduirana | | 79,3aB | 288,9aB |
| Ingá | | 86,7aB | 107,9aB |
| Aleluieira | biomassa foliar | 569,6aA | 760,8aA |
| Flemíngia | | 61,5aB | 194,7aB |
| Manduirana | | 42,3aB | 178,5aB |
| Ingá | | 77,9aB | 92,4aB |
| Aleluieira | biomassa dos ramos finos (< 1,0 cm) | 505,7aA | 499,6aA |
| Flemíngia | | 42,9aB | 165,2aAB |
| Manduirana | | 33,6aB | 56,8aB |
| Ingá | | 8,8aB | 15,6aB |
| Aleluieira | biomassa dos ramos grossos (≥ 1,0 cm) | 422,7aA | 339,2aA |
| Flemíngia | | 0aA | 31,9aA |
| Manduirana | | 3,4aA | 53,7aA |
| Ingá | | 0aA | 0aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre as podas, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ANEXO 5 - MATÉRIA SECA, CARBONO E NUTRIENTES PRESENTES NOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|------------|---------|---------|---------|-------|---------|----------|
| | | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Alfeneira | | 100 | 76.7aA | 63.7aA | 100 | 75.9aA | 65.5aA |
| Ingá | matéria | 100 | 78.4aA | 80.6aB | 100 | 99.7bB | 96.0bB |
| Flemíngia | seca | 100 | 68.7aB | 61.3aA | 100 | 73.5aA | 65.6aA |
| Manduirana | | 100 | 61.7aB | 52.1aC | 100 | 50.3bC | 41.3bC |
| Alfeneira | | 100 | 74.3aA | 65.3aAB | 100 | 75.6aA | 68.9aA |
| Ingá | carbono | 100 | 71.8aAB | 74.3aA | 100 | 105.1bB | 102.2bB |
| Flemíngia | | 100 | 62.8aB | 57.0aBC | 100 | 73.9bA | 63.3aA |
| Manduirana | | 100 | 65.8aAB | 55.9aC | 100 | 52.4bC | 42.6bC |
| Alfeneira | | 100 | 99.2aA | 79.7aA | 100 | 83.9bA | 76.0aA |
| Ingá | nitrogênio | 100 | 70.9aB | 75.7aAB | 100 | 104.3bB | 107.0bB |
| Flemíngia | | 100 | 62.5aB | 67.9aBC | 100 | 87.4bA | 79.2bA |
| Manduirana | | 100 | 65.7aB | 57.3aC | 100 | 62.2aC | 52.0aC |
| Alfeneira | | 100 | 74.3aA | 55.4aAB | 100 | 93.2bA | 94.5bA |
| Ingá | fósforo | 100 | 65.3aAB | 62.5aA | 100 | 80.5aA | 75.4aB |
| Flemíngia | | 100 | 53.3aB | 44.7aB | 100 | 60.6aB | 48.5aC |
| Manduirana | | 100 | 59.3aAB | 49.8aAB | 100 | 59.6aB | 34.4bC |
| Alfeneira | | 100 | 17.1aA | 10.5aA | 100 | 7.8aA | 4.7aA |
| Ingá | potássio | 100 | 21.2aA | 14.7aA | 100 | 30.0aB | 28.7bB |
| Flemíngia | | 100 | 16.6aA | 12.9aA | 100 | 24.8aBC | 8.4aA |
| Manduirana | | 100 | 25.5aA | 11.4aA | 100 | 14.7bAC | 5.3aA |
| Alfeneira | | 100 | 58.7aA | 48.1aA | 100 | 100.8bA | 99.6bAB |
| Ingá | cálcio | 100 | 104.3aB | 121.5aB | 100 | 88.9aA | 116.4aA |
| Flemíngia | | 100 | 95.7aAB | 81.4aA | 100 | 108.9aA | 107.8aAB |
| Manduirana | | 100 | 65.8aAB | 62.2aA | 100 | 71.9aA | 70.6aB |
| Alfeneira | | 100 | 53.9aA | 51.4aA | 100 | 61.1aAB | 62.5aA |
| Ingá | magnésio | 100 | 73.5aA | 75.5aA | 100 | 92.8aA | 135.1bB |
| Flemíngia | | 100 | 74.8aA | 72.1aA | 100 | 71.3aAB | 66.0aA |
| Manduirana | | 100 | 65.4aA | 44.8aA | 100 | 34.4aB | 24.5aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade

ANEXO 6 - MATÉRIA SECA, CARBONO E NUTRIENTES PRESENTES NOS RAMOS FINOS (<1,0 cm) NOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|-----------------|---------|----------|----------|-------|---------|---------|
| | | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Alfeneira | matéria seca | 100 | 97,7aA | 100,2aA | 100 | 87,1aA | 86,1aAB |
| Ingá | | 100 | 120,5aB | 113,1aA | 100 | 89,3bA | 90,8bA |
| Flemíngia | | 100 | 117,0aB | 113,2aA | 100 | 81,7bAB | 72,9bBC |
| Manduirana | | 100 | 72,8aC | 69,4aB | 100 | 68,6aB | 58,9aC |
| Alfeneira | carbono | 100 | 101,5aA | 99,1aA | 100 | 91,8aA | 93,3aA |
| Ingá | | 100 | 126,5aB | 113,5aAB | 100 | 94,0bA | 95,5bA |
| Flemíngia | | 100 | 115,4aAB | 116,4aB | 100 | 78,9bAB | 67,8bB |
| Manduirana | | 100 | 76,7aC | 71,6aC | 100 | 66,5aB | 58,9aB |
| Alfeneira | nitrogênio | 100 | 64,7aA | 67,5aA | 100 | 103,3bA | 107,5bA |
| Ingá | | 100 | 177,9aB | 187,9aB | 100 | 117,7bA | 108,4bA |
| Flemíngia | | 100 | 136,2aC | 137,8aC | 100 | 98,9bA | 110,9aA |
| Manduirana | | 100 | 69,9aA | 55,7aA | 100 | 65,3aB | 60,3aB |
| Alfeneira | fósforo | 100 | 54,8aA | 58,2aAB | 100 | 316,4bA | 311,0bA |
| Ingá | | 100 | 94,8aAB | 91,1aAB | 100 | 70,2aB | 66,1aB |
| Flemíngia | | 100 | 119,9aB | 99,6aA | 100 | 34,6bB | 31,9bB |
| Manduirana | | 100 | 74,3aAB | 46,8aB | 100 | 152,3bC | 144,8bC |
| Alfeneira | potássio | 100 | 89,5aA | 82,3aA | 100 | 30,2bA | 29,4bA |
| Ingá | | 100 | 83,6aA | 75,8aA | 100 | 124,9bB | 103,9bB |
| Flemíngia | | 100 | 51,4aB | 34,6aB | 100 | 12,9bAC | 7,3bC |
| Manduirana | | 100 | 40,2aB | 21,2aB | 100 | 6,3bC | 6,6aC |
| Alfeneira | cálcio | 100 | 100,0aAC | 90,9aA | 100 | 141,7bA | 157,8bA |
| Ingá | | 100 | 129,7aAB | 135,4aB | 100 | 75,4bB | 82,1bB |
| Flemíngia | | 100 | 154,9aB | 150,2aB | 100 | 91,7bB | 88,1bB |
| Manduirana | | 100 | 73,3aC | 61,3aA | 100 | 84,9aB | 91,4aB |
| Alfeneira | magnésio | 100 | 110,8aAB | 81,2aAB | 100 | 123,4aA | 89,6aAB |
| Ingá | | 100 | 105,5aAB | 113,7aA | 100 | 98,2aA | 97,2aA |
| Flemíngia | | 100 | 142,4aA | 126,4aA | 100 | 79,9bAB | 74,0aAB |
| Manduirana | | 100 | 73,7aB | 59,2aB | 100 | 38,3aB | 39,5aB |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade

ANEXO 7 - MATÉRIA SECA, CARBONO E NUTRIENTES REMANESCENTES NOS RAMOS GROSSOS (> 1,0 cm) EM 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, AOS 0, 90 E 120 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | INVERNO | | | VERÃO | | |
|------------|--------------|---------|---------|---------|-------|---------|--------|
| | | 0 | 90 | 120 | 0 | 90 | 120 |
| Aleluieira | matéria seca | 100 | 95,3aA | 96,4aA | 100 | 82,3bA | 67,4bA |
| Ingá | | 100 | 81,9B | 82,9B | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 76,7A | 69,2A |
| Manduirana | | 100 | 100,6aA | 98,3aA | 100 | 60,2bB | 51,4bB |
| Aleluieira | carbono | 100 | 103,8aA | 102,5aA | 100 | 85,5bA | 68,9bA |
| Ingá | | 100 | 87,6B | 49,7B | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 78,8A | 70,9A |
| Manduirana | | 100 | 109,3aA | 49,5aB | 100 | 62,2bB | 52,2aB |
| Aleluieira | nitrogênio | 100 | 67,1aAB | 55,3aA | 100 | 90,2bA | 87,5bA |
| Ingá | | 100 | 75,8A | 75,7B | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 91,1A | 84,0A |
| Manduirana | | 100 | 52,9aB | 54,1aA | 100 | 100,4bA | 91,6bA |
| Aleluieira | fósforo | 100 | 13,5aA | 0aA | 100 | 100bA | 100bA |
| Ingá | | 100 | 81,1B | 72,2B | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 100A | 100A |
| Manduirana | | 100 | 117,0aC | 114,6aC | 100 | 43,0bB | 37,1bB |
| Aleluieira | potássio | 100 | 73,6aA | 67,5aA | 100 | 39,2bA | 16,6bA |
| Ingá | | 100 | 33,7B | 32,8B | - | - | - |
| Flemíngia | | - | - | - | 100 | 21,8B | 17,7A |
| Manduirana | | 100 | 38,2aB | 24,7aB | 100 | 18,2bB | 12,8bA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ANEXO 8 - MICRONUTRIENTES PRESENTES NOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS, AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (%).

| ESPÉCIE | MICRO-NUTRIENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|-----------------|---------|---------|----------|-------|---------|---------|
| | | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Aleluieira | ferro | 100 | 120.9aA | 141.1aA | 100 | 442.8aA | 337.3aA |
| Ingá | | 100 | 104.8aA | 119.6aA | 100 | 452.4aA | 492.1bA |
| Flemíngia | | 100 | 114.5aA | 131.5aA | 100 | 338.9aA | 276.9aA |
| Manduirana | | 100 | 115.1aA | 104.8aA | 100 | 570.2bA | 377.7aA |
| Aleluieira | manganês | 100 | 67.9aA | 48.5aA | 100 | 75.7aAB | 90.1bA |
| Ingá | | 100 | 116.6aB | 121.4aB | 100 | 106.5aA | 107.5aA |
| Flemíngia | | 100 | 73.8aA | 87.5aAB | 100 | 84.9aAB | 87.4aA |
| Manduirana | | 100 | 55.2aA | 52.9aA | 100 | 58.2aB | 73.1aA |
| Aleluieira | cobre | 100 | 115.4aA | 436.5aA | 100 | 104.2aA | 181.5aA |
| Ingá | | 100 | 98.7aA | 103.1aAB | 100 | 124.5aA | 175.1aA |
| Flemíngia | | 100 | 80.7aA | 69.8aB | 100 | 53.4aA | 71.2aA |
| Manduirana | | 100 | 106.9aA | 81.7aAB | 100 | 62.8aA | 105.7aA |
| Aleluieira | zinco | 100 | 66.6aA | 86.7aA | 100 | 128.2bA | 148.9bA |
| Ingá | | 100 | 74.8aA | 81.9aA | 100 | 113.1aA | 130.6aA |
| Flemíngia | | 100 | 74.8aA | 77.9aA | 100 | 95.2aA | 97.5aA |
| Manduirana | | 100 | 58.6aA | 44.7aA | 100 | 117.9bA | 140.3bA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ANEXO 9 - CONCENTRAÇÃO DE CARBONO E MACROUTRIENTES PRESENTE NOS TECIDOS FOLIARES DE 4 ESPÉCIES LEGUMINOSAS AOS 0, 55 E 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO (g.kg⁻¹).

| ESPÉCIE | NUTRIENTE | Inverno | | | Verão | | |
|------------|------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| | | 0 | 55 | 90 | 0 | 55 | 90 |
| Alfeneira | carbono | 473.6aA | 458.6aA | 485.4aA | 460.4aA | 461.2aA | 488.3aA |
| Ingá | | 495.5aA | 453.7aA | 456.2aA | 456.5bA | 481.0aA | 485.9aA |
| Flemíngia | | 487.5aA | 445.9aA | 453.6aA | 482.2aA | 485.0bA | 465.6aA |
| Manduirana | | 497.9aA | 530.0bB | 533.4aB | 517.9aB | 550.3aB | 545.8aB |
| Alfeneira | nitrogênio | 18.1aA | 23.5aA | 22.6aA | 24.4bA | 27.3aA | 28.7bA |
| Ingá | | 22.3aB | 20.2aA | 21.0aA | 30.4bB | 31.9bB | 33.9bB |
| Flemíngia | | 30.1aC | 27.8aB | 33.3aB | 26.1aA | 31.0aA | 31.5aAB |
| Manduirana | | 22.3aB | 23.7aAB | 24.5aA | 22.8aA | 28.3bA | 29.3bA |
| Alfeneira | fósforo | 1.32aA | 1.28aA | 1.14aA | 0.79bA | 0.97bAB | 1.15aA |
| Ingá | | 1.11aAC | 0.93aB | 0.86aB | 1.16aB | 0.93aA | 0.91aA |
| Flemíngia | | 1.63aB | 1.26aA | 1.18aA | 1.50aC | 1.24aBC | 1.11aA |
| Manduirana | | 0.96aC | 0.93aB | 0.92aAB | 1.23aBC | 1.46bC | 1.02aA |
| Alfeneira | potássio | 5.51aA | 1.23aA | 0.92aA | 8.23bAB | 0.85aA | 0.59aA |
| Ingá | | 8.68aB | 2.34aAB | 1.60aA | 6.30bA | 1.89aA | 1.90aA |
| Flemíngia | | 8.37aB | 2.02aAB | 1.76aA | 7.03aA | 2.36aA | 0.90aA |
| Manduirana | | 9.22aB | 3.76aB | 1.99aA | 10.37aB | 3.03aA | 1.33aA |
| Alfeneira | cálcio | 17,92aA | 13,7aA | 13,5aA | 9,00bA | 11,35aAB | 13,05aAB |
| Ingá | | 9,25aB | 11,65aA | 13,14aA | 10,6aA | 9,02aA | 12,31aA |
| Flemíngia | | 10,13aB | 13,56aA | 13,26aA | 8,58aA | 12,30aAB | 13,60aAB |
| Manduirana | | 8,29aB | 9,30aA | 10,46aA | 10,92aA | 15,30bB | 18,16bB |
| Alfeneira | magnésio | 3,63aA | 2,22aA | 2,55aA | 3,28aAB | 2,95aA | 3,53aA |
| Ingá | | 1,92aB | 1,83aA | 1,81aA | 1,97aA | 2,10aA | 3,19aA |
| Flemíngia | | 2,55aAB | 2,63aA | 2,83aA | 2,99aAB | 2,67aA | 2,78aA |
| Manduirana | | 2,54aAB | 2,30aA | 1,88aA | 3,59aB | 2,75aA | 2,39aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ANEXO 10. TEORES DE LIGNINA PRESENTES NAS FOLHAS, RAMOS FINOS (< 1 cm) E RAMOS GROSSOS (≥ 1 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM MAIO/97 E EM DEZEMBRO/97 (%).

| Espécie | Folhas | | Ramos Finos | | Ramos Grossos | |
|------------|---------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|
| | Maior97 | Dezembro/97 | Maior97 | Dezembro/97 | Maior97 | Dezembro/97 |
| Alfeneira | 6,83 | 18,14 | 15,40 | 16,54 | 14,86 | 10,06 |
| Flemíngia | 13,00 | 15,26 | 13,63 | 18,86 | - | 17,06 |
| Manduirana | 4,31 | 5,20 | 7,63 | 5,71 | 12,63 | 17,00 |
| Ingá | 7,63 | 17,89 | 14,71 | 16,66 | 15,54 | - |

ANEXO 11. RELAÇÕES C/N NAS FOLHAS, RAMOS FINOS (< 1 cm) E RAMOS GROSSOS (≥ 1 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM MAIO/97 E EM DEZEMBRO/97(%).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | Verão |
|------------|---------------|---------|---------|
| Aleluieira | Folhas | 26,3aA | 18,8bA |
| Ingá | | 22,3aB | 15,0bB |
| Flemíngia | | 16,2aC | 18,5aA |
| Manduirana | | 22,4aB | 22,7aC |
| Aleluieira | Ramos finos | 58,9aA | 84,7aA |
| Ingá | | 51,5aA | 36,4aB |
| Flemíngia | | 52,6aA | 65,3aAC |
| Manduirana | | 36,9aA | 51,9aBC |
| Aleluieira | Ramos grossos | 76,5aA | 111,7aA |
| Ingá | | 53,9aAB | - |
| Flemíngia | | - | 103,7A |
| Manduirana | | 37,4aB | 101,6bA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ANEXO 12. RELAÇÕES C/P NAS FOLHAS, RAMOS FINOS (< 1 cm) E RAMOS GROSSOS (≥ 1 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM MAIO/97 E EM DEZEMBRO/97(%).

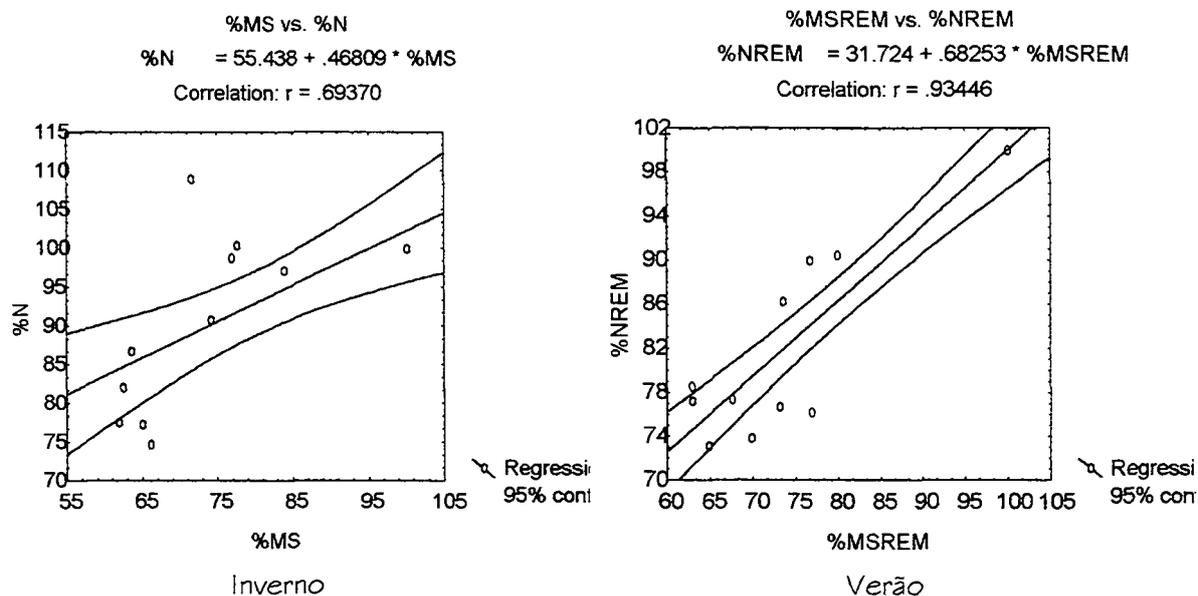
| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | Verão |
|------------|---------------|----------|-----------|
| Aleluieira | Folhas | 361,7aAB | 581,5bA |
| Ingá | | 445,9aAB | 395,1aB |
| Flemíngia | | 299,1aA | 321,0aB |
| Manduirana | | 532,3aB | 420,6aAB |
| Aleluieira | Ramos finos | 820,4aA | 4252,9aA |
| Ingá | | 684,8aA | 524,7aA |
| Flemíngia | | 785,1aA | 432,1A |
| Manduirana | | 767,1aA | 10055,8aB |
| Aleluieira | Ramos grossos | 882,5aA | 0aA |
| Ingá | | 957,5aA | - |
| Flemíngia | | - | 0aA |
| Manduirana | | 870,4aA | 865,7aA |

Obs.: Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre o inverno e o verão, para uma mesma espécie e componente analisado. Letras maiúsculas diferentes apontam diferenças significativas entre as espécies, para um mesmo componente. Análise foi feita pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

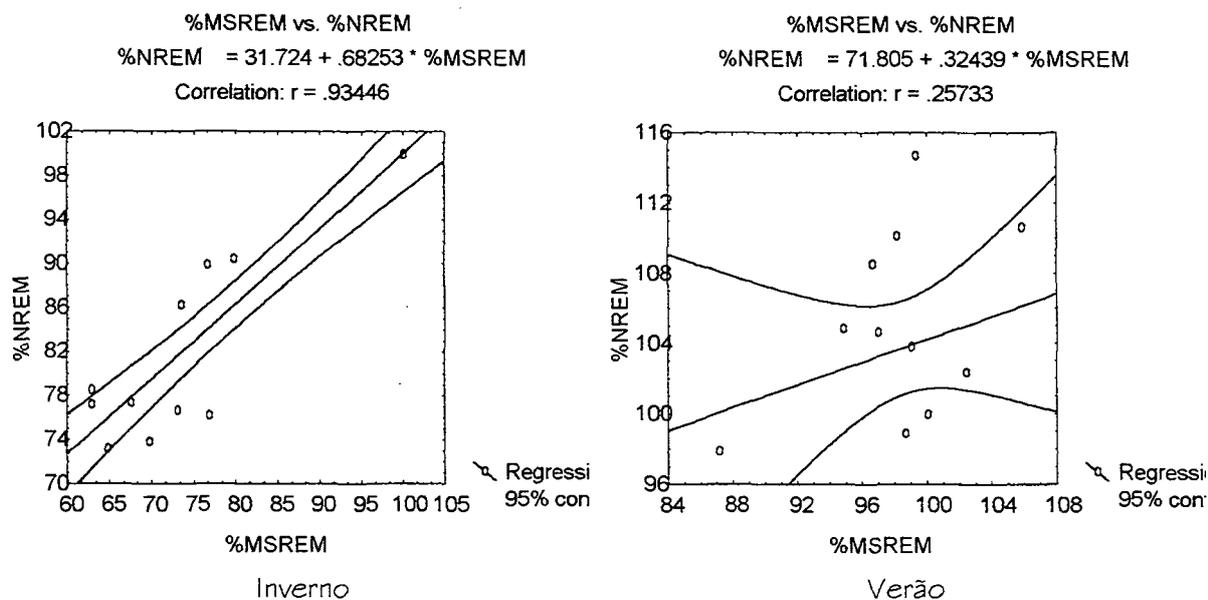
ANEXO 13. RELAÇÕES LIGNINA/N NAS FOLHAS, RAMOS FINOS (< 1 cm) E RAMOS GROSSOS (≥ 1 cm) DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS EM MAIO/97 E EM DEZEMBRO/97(%).

| ESPÉCIE | COMPONENTE | Inverno | Verão |
|-----------|---------------|---------|-------|
| Alfeneira | Folhas | 3,8 | 7,4 |
| Ingá | | 3,4 | 5,9 |
| Flemíngia | | 4,3 | 5,9 |
| Mandurana | | 1,9 | 2,3 |
| Alfeneira | Ramos finos | 20,1 | 30,7 |
| Ingá | | 16,7 | 13,5 |
| Flemíngia | | 14,9 | 25,1 |
| Mandurana | | 6,1 | 6,2 |
| Alfeneira | Ramos grossos | 25,3 | 24,6 |
| Ingá | | 17,6 | - |
| Flemíngia | | - | 38,9 |
| Mandurana | | 10,3 | 36,9 |

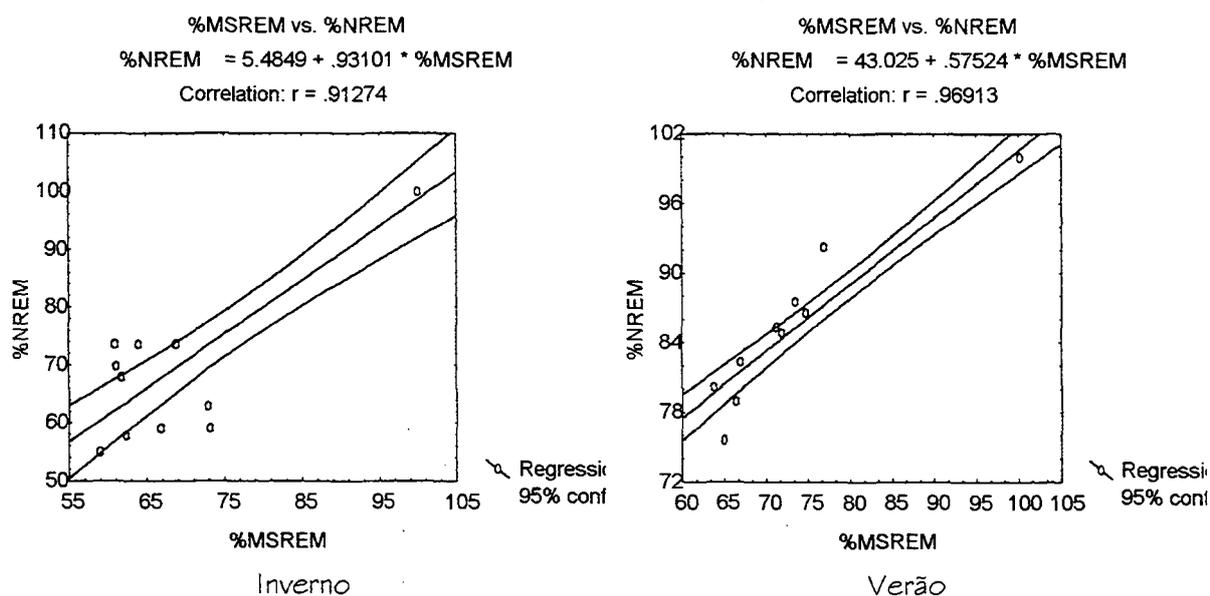
ANEXO 14. CORRELAÇÃO ENTRE A PERDA DE MATÉRIA SECA E A LIBERAÇÃO DE N PELAS FOLHAS DA ALFENEIRA NO INVERNO E NO VERÃO ATÉ 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.



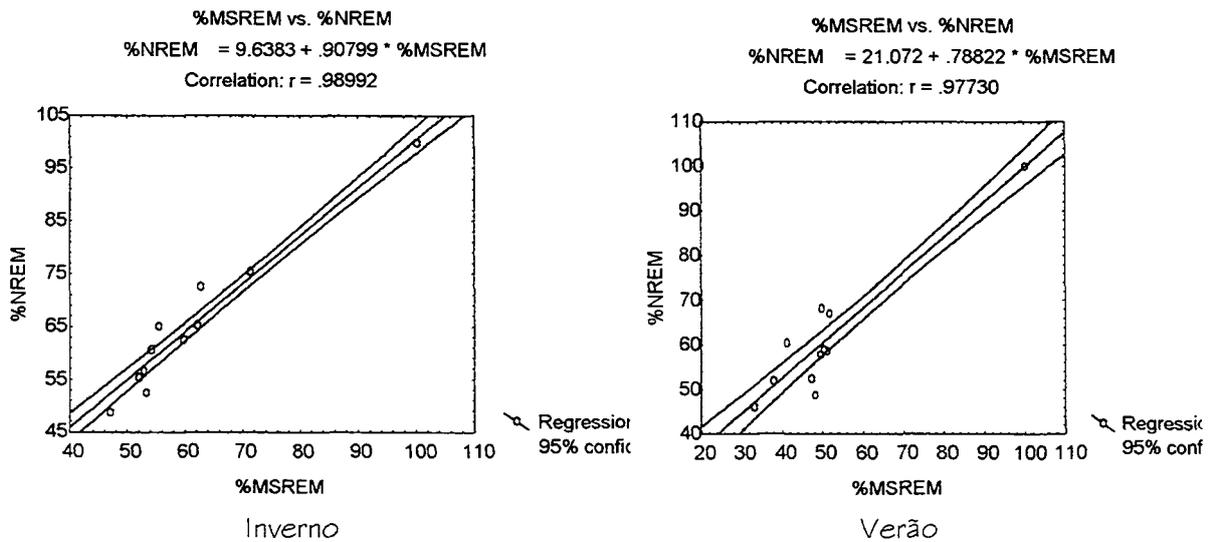
ANEXO 15. CORRELAÇÃO ENTRE A PERDA DE MATÉRIA SECA E A LIBERAÇÃO DE N PELAS FOLHAS DO INGÁ NO INVERNO E NO VERÃO ATÉ 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.



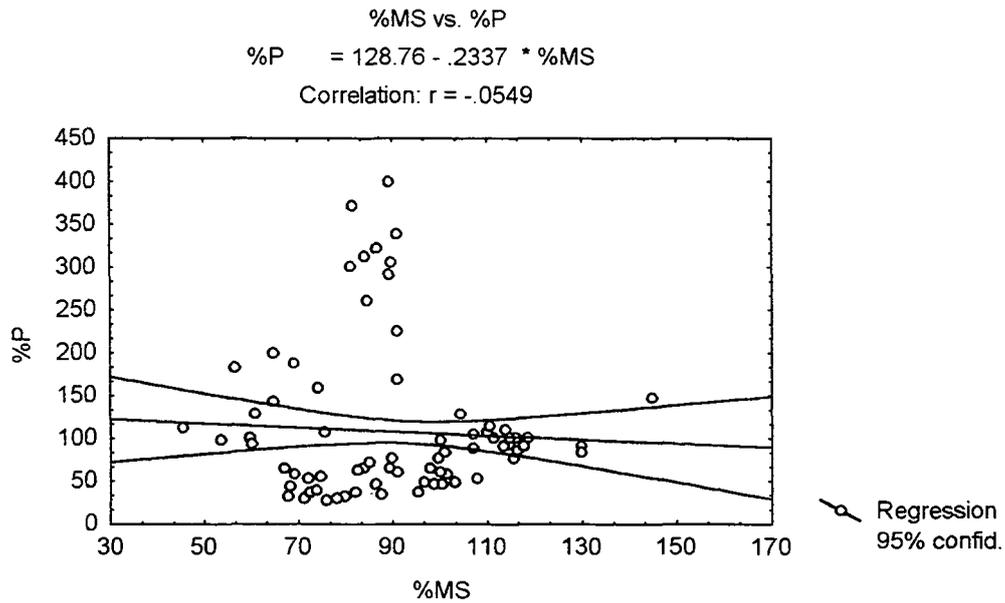
ANEXO 16. CORRELAÇÃO ENTRE A PERDA DE MATÉRIA SECA E A LIBERAÇÃO DE N PELAS FOLHAS DA FLEMÍNGIA NO INVERNO ATÉ 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.



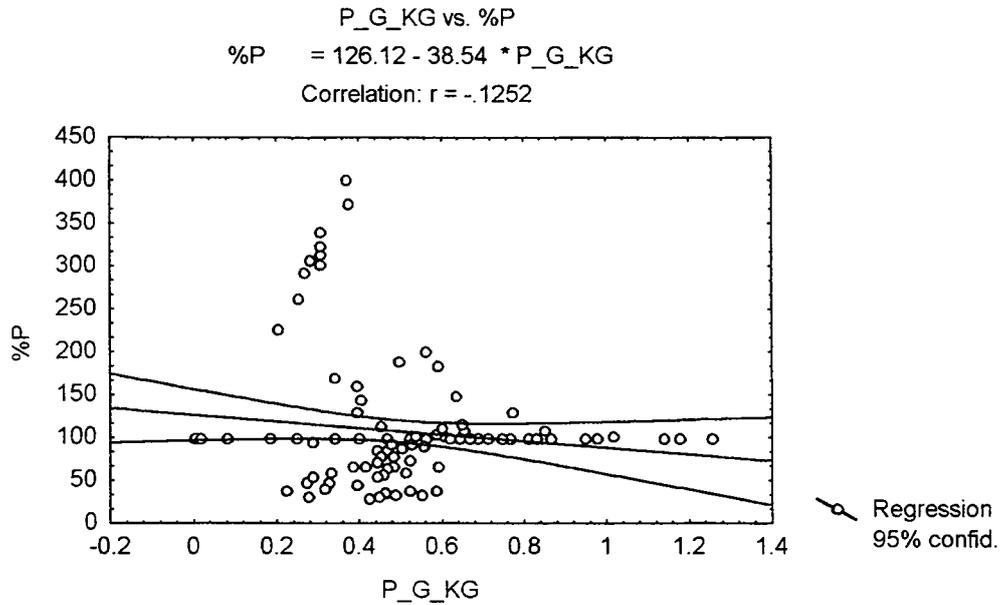
ANEXO 17. CORRELAÇÃO ENTRE A PERDA DE MATÉRIA SECA E A LIBERAÇÃO DE N PELAS FOLHAS DA MANDUIRANA, NO INVERNO E NO VERÃO, ATÉ 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.



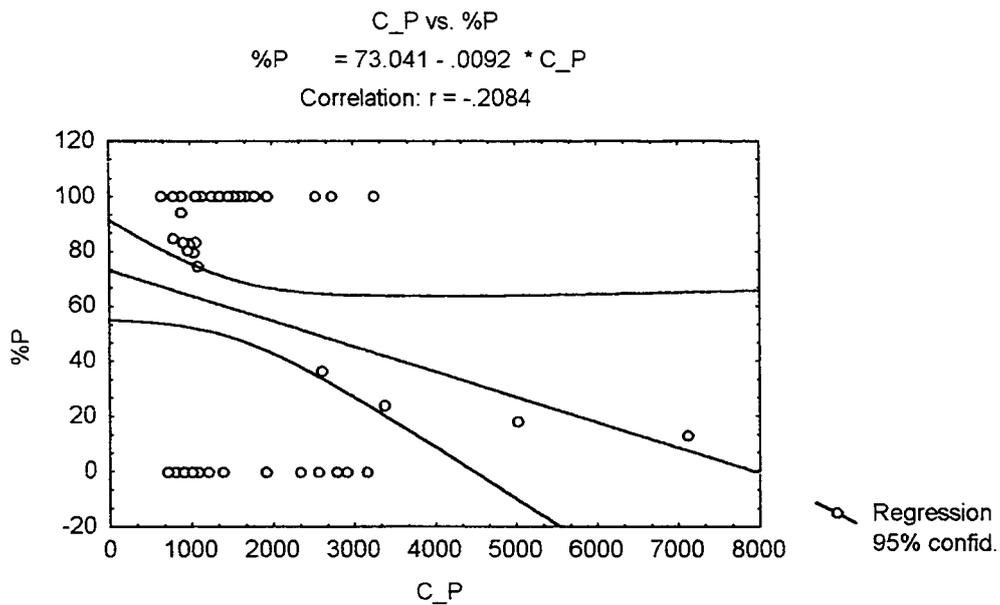
ANEXO 18. CORRELAÇÃO ENTRE A PERDA DE MATÉRIA SECA E A LIBERAÇÃO DE P PELOS RAMOS FINOS DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS NO INVERNO E NO VERÃO ATÉ 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.



ANEXO 19. CORRELAÇÃO ENTRE OS TEORES DE P E SUA LIBERAÇÃO PELOS RAMOS FINOS DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS NO INVERNO E NO VERÃO ATÉ 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.



ANEXO 20. CORRELAÇÃO ENTRE A RELAÇÃO C/P E A LIBERAÇÃO DE P PELOS RAMOS GROSSOS DE 4 LEGUMINOSAS LENHOSAS NO INVERNO E NO VERÃO ATÉ 90 DIAS DE DECOMPOSIÇÃO.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALLISON, F. E. *Developments in soil science*. Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Company, 1973. v. 3: Soil organic matter and its role in crop production. 637 pp.
- 2 BAHUGUNA, V. K.; NEGI, J. D. S.; JOSHI, S. R.; NAITHANI. Leaf litter decomposition and nutrient release in *Shorea robusta* and *Eucalyptus camaldulensis* plantation. *The Indian Forester*. Dehradun, v. 116, n. 2, fev. 1990, p. 103-114.
- 3 BANDY, Dale E.; SÁNCHEZ, Pedro A. Continuous crop cultivation in acid soils of the amazon basin of Peru. In: WRIEK, J. F.; WIT, H. A. (Ed.) *Workshop on the management of low fertility acid soils of the american humid tropics (1 : 1981 : Paramaribo)*. Proceedings... San José : Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, 1982. p. 153-174.
- 4 BANZATTO, David Arioaldo; KRONKA, Sérgio do Nascimento. *Experimentação agrícola*. 2. ed. Jaboticabal : FUNEP, 1992. 247 pp.
- 5 BENÍTES, José R.; VALVERDE, Carlos L. Constraints in the use and management of infertile acid soils in the humid tropics. In: WRIEK, J. F.; WIT, H. A. (Ed.) *Workshop on the management of low fertility acid soils of the american humid tropics (1981 : Paramaribo)*. Proceedings... San José : Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, 1982. p. 127-151.
- 6 BUDD, W. W.; HARDESTY, L. H.; HINDS, W. T. A conspectus for agroforestry. In: BUDD, W. W.; DUCHHART, I.; HARDESTY, L. H.; STEINER, F. (Ed.) *Planning for agroforestry*. Amsterdam : Elsevier, 1990. p. 18-32.
- 7 BUDELMAN, Arnoud. Leaf dry matter productivity of three selected perennial leguminous species in humid tropical Ivory Coast. *Agroforestry Systems*, Dordrecht, v. 7, p. 47-62, 1988a.
- 8 _____. Nutrient composition of the leaf biomass of three selected woody leguminous species. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 8, p. 39-51, 1989.
- 9 _____. The decomposition of the leaf mulches of *Leucaena leucocephala*, *Gliricidia sepium* and *Flemingia macrophylla* under humid tropical conditions. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 7, p. 33-45, 1988b.
- 10 CARVALHO, Paulo Ernani. *Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira*. Colombo : EMBRAPA - CNPF, 1994. p. 288-291, 484-487. 640 pp.
- 11 COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D.A. *Fundamentals of soil Ecology*. San Diego, Academic Press, Inc., 1996. 205pp.
- 12 CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J. H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v. 26, n. 1, p. 49-55, 1994.
- 13 COSTA, F. J. S. A.; BOULDIN, D. R.; SUHET, A. R. Evaluation of N recovery from mucuna placed on the surface or incorporated in a Brazilian oxisol. *Plant and Soil*. Dordrecht, v. 124, p. 91-96, 1990.

- 14 DAKORA, F. D.; KEYA, S. O. Contribution of legume nitrogen fixation to sustainable agriculture in Sub-Saharan Africa. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v. 29, n. 5/6, p. 809-817, 1997.
- 15 DAMIANI, S. Evaluación de cinco especies de leguminosas en el abonamiento nitrogenado del maíz en suelos aluviales de la cunca amazónica. Yurimaguas : Programa de Suelos Tropicales, NCSU/INIPA. 14 pp. No prelo. 198?
- 16 DUCHHART, I.; VAN HAERINGEN, R.; STEINER, F. Introduction: integrated planning for agroforestry. In: BUDD, W. W.; DUCHHART, I.; HARDESTY, L. H.; STEINER, F. (Ed.) *Planning for agroforestry*. Amsterdam : Elsevier, 1990. p. 1-17.
- 17 DUGUMA, B.; KANG, B.T.; OKALY, D.U.U. Effect of pruning intensities of three woody leguminous species grown in alley cropping with maize and cowpea on an alfisol. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 6, p. 19-35, 1988.
- 18 EDMONDS, Robert L. Litter decomposition and nutrient release in Douglas-fir, red alder, western hemlock, and Pacific silver fir ecosystems in western Washington. *Canadian Journal of Forest Research*. Ottawa, v. 10, n. 3, p. 327-337, set. 1980.
- 19 EDWARDS, P.J. Studies of mineral cycling in a montane rain forest in New Guinea. *Journal of Ecology*. Oxford, v. 65, n. 3, p. 971-992, 1977.
- 20 EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro : EMBRAPA, 1979.
- 21 _____. _____. *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná*. Curitiba : EMBRAPA-SNLCS, 1981. 1 mapa : color.; 102 x 116 cm. Escala 1:600.000.
- 22 FARREL, John G. Sistemas agroflorestais. In: ALTIERI, Miguel A. *Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa*. Rio de Janeiro : PTA/FASE, 1989. 159-167.
- 23 FASSBENDER, Hans W. *Química de suelos: con énfasis en suelos de América Latina*. 4ª ed. San José : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1982. 422 pp.
- 24 FERNANDES, Elizabeth Nogueira *et al.* Avaliação de impactos ambientais de sistemas agroflorestais. In: MONTOYA, Luciano J.; MEDRADO, Moacir J. S. (Ed.). *1 Congresso brasileiro sobre sistemas agroflorestais (1994 : Porto Velho)*. Anais... Colombo : Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 1994. p. 361-372.
- 25 FERREIRA, Elvino; RESENDE, Cláudia de Paula; BODDEY, Robert Michael *et al.* In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo (XXVII : 1997 : Rio de Janeiro)*. Anais... Rio de Janeiro : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo? EMBRAPA/CNPAB?, 1997. n.p.
- 26 FOGEL, R.; CROMACK, K.J. Effects of habitat and substrate quality on Douglas-fir litter decomposition in western Oregon. *Canadian Journal of Botany*. Ottawa, v.55, p. 1632-40, 1977.
- 27 FOSTER, G. R.; YOUNG, R. A.; RÖMKENS, M. J. M.; ONSTAD, C. A. Processes of soil erosion by water. In: FOLLET, R. F.; STEWART, A. (Ed.). *Soil erosion and crop productivity*. Madison : ASA-CSSA-SSSA, 1985. p. 137-162.

- 28 FOX, R. H.; MYERS, R. J. K.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *Plant and Soil*. Dordrecht, v.129, p. 251-259, 1990.
- 29 FRANCO, Avílio A.; NEVES, Maria C. P. Fatores limitantes à fixação biológica de nitrogênio. In: CARDOSO, Elke J. B. N.; TSAI, Siu M.; NEVES, Maria Cristina P. (Coord.) *Microbiologia do solo*. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 219-230.
- 30 GARRITY, D. P. Tree-soil-crop interactions on slopes. In: ONG, Ching K.; HUXLEY, Peter. *Tree-crop interactions: a physiological approach*. Wallingford : CAB International, 1996. p. 299-318.
- 31 GICHURU, M. P.; KANG, B. T. *Calliandra calothyrsus* (Meissn.) in an alley cropping system with sequentially cropped maize and cowpea in southwestern Nigeria. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 9, p. 191-203, 1989.
- 32 GOERING, H. K.; VAN SOEST, P. J. Forage fiber analysis. *Agriculture handbook*. Washington, D.C. : USDA, 1970. n. 379. 20 pp.
- 33 GUEVARRA, A. B.; WHITNEY, A. S.; THOMPSON, J. R. Influence of intra-row spacing and cutting regimes on the growth and yield of *Leucaena*. *Agronomy Journal*. Madison, v. 70, 1978, p. 1033-1037.
- 34 HAGGAR, J. P.; TANNER, E. V. J.; BEER, J. W.; KASS, D. C. Nitrogen dynamics of tropical agroforestry and annual cropping systems. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v. 25, n. 10, p. 1363-1378, 1993.
- 35 HAUER, Margit. *Morretes: os contrastes de um modelo de desenvolvimento*. Curitiba, 1994. Monografia (Especialização em Metodologia Científica em Ciências Sociais) – Setor de Ciências Humanas, Universidade Federal do Paraná. *no prelo*.
- 36 HENROT, J.; BRUSSAARD, L. Determinants of *Flemingia congesta* and *Dactyladenia barteri* mulch decomposition in alley-cropping systems in the humid tropics. *Plant and soil*. Dordrecht, v. 191, p. 101-107, 1997.
- 37 HILDEBRAND, Christa. *Manual de análise química de solos e plantas*. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Curso de Engenharia Florestal-Convênio de Freiburg. Curitiba, 1976-77. 224 p.
- 38 HÖGGERG, Peter; KVARNSTRÖM, Marie. Nitrogen fixation by the woody legume *Leucaena leucocephala* in Tanzania. *Plant and Soil*. Dordrecht, v. 66, p. 21-28, 1982.
- 39 HOOVER, Coeli M.; CROSSLEY JUNIOR, D. A. Leaf decomposition and microarthropod abundance along an altitudinal gradient. In: COLLINS, H. P.; ROBERTSON, G. P.; KLUG, M. J. (Ed.). *The significance and regulation of soil biodiversity*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1995. p. 287-292.
- 40 HUCK, G. M. Root distribution, growth and activity with reference to agroforestry. In: HUXLEY, P. A. (Ed.). *Plant research and agroforestry*. Nairobi : International Council for Research in Agroforestry, 1983. p. 527-542.
- 41 IAPAR. *Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná 1978*. Londrina : Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1978. 41 pp.

- 42 JANZEN, H. H.; MACGINN, S. M. Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v. 23, n. 3, p. 291-297, 1991.
- 43 KACHAKA, S.; VANLAUWE, B.; MERCKX, R. Decomposition and nitrogen mineralization of prunings of different quality. In: MULONGOY, K.; MERCKX, R. (Ed.) *Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture*. Chichester : John Wiley & Sons, 1993. p. 199-208.
- 44 KANG, B. T.; WILSON, G. F.; SIPKENS, L. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam) in Southern Nigeria. *Plant and Soil*. Dordrecht, v. 63, p. 165-179, 1981.
- 45 KÖGEL-KNABNER, Ingrid. Biodegradation and humification processes in forest soils. In: BOLLAG, Jean-Marc; STOTZKY, G. (Ed.). *Soil Biochemistry*. New York : Marcel Dekker, 1993. v. 8. p. 101-135.
- 46 LADD, J. N.; OADES, J. M.; AMATO, M. Distribution and recovery of nitrogen from legume residues decomposing in soils sown to wheat in the field. *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v. 13, p. 251-256, 1981.
- 47 LAVELLE, Patrick; BLANCHART, Eric; MARTIN, Agnès; MARTIN, Serge. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of humid tropics. *Biotropica*. Washington, v. 25, n. 2, p. 130-50, 1993.
- 48 LEHMANN, J.; SCHROTH, G.; ZECH, W. Decomposition and nutrient release from leaves, twigs and roots of three alley-cropped tree legumes in central Togo. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 29, p. 21-36, 1995.
- 49 LEME, Maria Celina Jorge; DURIGAN, Maria Eliane; RAMOS, Adson. Avaliação do potencial forrageiro de espécies florestais. In: MONTOYA, Luciano Javier; MEDRADO, Moacir J. Sales (Ed.). SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NA REGIÃO SUL (1 : 1994 : Colombo) Anais...Colombo : EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1994. p. 147-155.
- 50 LEPSCH, Igo Fernando. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 pp.
- 51 LOCATELLI, Marília; PALM, Cheryl Ann; SMYTH, Thomas Jot; RICCI, Marta dos Santos Freire. Seleção de leguminosas para cultivo "alley-cropping" sob condições de latossolo amarelo em Porto Velho Rondônia- Brasil. EMBRAPA : Rondônia, 1991. Pesquisa em andamento. No prelo.
- 52 LORENZI, Harri. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa : Plantarum, 1992. p. 165.
- 53 LOUSIER, J. D.; PARKINSON, D. Chemical element dynamics in decomposing leaf litter. *Canadian Journal of Botany*. Ottawa, v. 56, p. 2795-2821, 1978.
- 54 LUNA-OREA, Pedro; WAGGER, Michael G.; GUMPERTZ, Marcia. Decomposition and nutrient release dynamics of two tropical legume cover crops. *Agronomy Journal*. Madison, v. 88, p. 758-764, 1996.
- 55 MACLAUGHERTY, C. A.; PASTOR, John; ABER, J. D.; MELILLO, J. M. Forest litter decomposition in relation to soil nitrogen dynamics and litter quality. *Ecology*. Tempe, v. 66, n. 1, p. 266-275, 1985.

- 56 MAFRA, A. L.; MIKLÓS, A. A.; VOCURCA, H. L. *et al.* Produção de fitomassa e atributos químicos do solo sob cultivo em aléias e sob vegetação nativa de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa, v. 22, n. 1, p. 43-48, 1998.
- 57 MAGID, Jakob; JENSEN, Lars Stoutmann; MUELLER, Torsten *et al.* Size-density fractionation for *in situ* measurements of rape straw decomposition: an alternative to the litterbag approach? *Soil Biology and Biochemistry*. Oxford, v. 29, n. 7, p. 1125-1133, 1997.
- 58 MALUF, A. M.; SILVEIRA, A. P. D.; MELO, I. S. Influência da calagem e da micorriza vesículo-arbuscular no desenvolvimento de cultivares de leucena tolerante e intolerante ao alumínio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Campinas, v. 1, n. 1, p. 17-24, 1988.
- 59 MARSCHNER, Horst. Mineral nutrition of higher plants. 5 ed. San Diego : Academic Press N. C., 1993. 674 pp.
- 60 MASCHIO, Lucila M. de A.; MEDRADO, Moacir José Sales; RODIGUERI, Honorino Roque; MONTOYA, Luciano Javier. A agrofloresta na ótica da teoria de sistemas. In: MONTOYA, Luciano J.; MEDRADO, Moacir J. S. (Ed.). CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS (1. : 1994 : Porto Velho). Anais... Colombo : EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, 1994. v. 2. p. 373-383.
- 61 MASON, C. F. Temas de biologia. São Paulo : Pedagógica e Universitária Ltda., 1980. v. 18: Decomposição. 63 pp.
- 62 MATTHEWS R.B.; HOLDEN S.T.; VOLK J.; LUNGU, S. The potential of alley cropping in improvement of cultivation systems in the high rainfall areas of Zambia II. maize production. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 17, p. 241-261, 1992.
- 63 MELILLO, Jerry M.; ABER, John D.; MURATORE, John F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*. Tempe, v. 63, n. 3, p. 621-626, 1982.
- 64 MELLO, Francisco de A. F.; BRASIL SOBRINHO, Moacyr de O. C.; ARZOLLA, Sylvio; *et al.* Fertilidade do solo. 2. ed. São Paulo : Nobel, 1984. 400 pp.
- 65 MENGEL, Konrad; KIRKBY, Ernest A. Principles of plant nutrition. 4 ed. Worblaufen-Bern : International Potash Institute, 1987. 687 pp.
- 66 MINEROPAR. Geologia do Estado do Paraná. Curitiba : MINEROPAR, 1986. 1 mapa color.; 50 x 70 cm. Escala 1:400.000
- 67 MOORE, T. R. Litter decomposition in a subartic spruce-lichen woodland, Eastern Canada. *Ecology*. Tempe, v. 65, n. 1, p. 299-308, 1984.
- 68 MUZILLI *et al.* (1980). Respostas do milho à adubação fosfatada, nas classes de teores baixo e médio de fósforo no solo, no Estado do Paraná. Nota de figura. In: MUZILLI, O.; OLIVEIRA, E. L. Nutrição e adubação. CIRCULAR IAPAR. Londrina : Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, n. 29: O milho no Paraná., 1982.
- 69 NAIR, Ramachandran P. K. An introduction to agroforestry. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1993. 499 pp.
- 70 OLEYNIK, José; BRAGAGNOLO, Nestor; BUBLITZ, Udo; SILVA, José Carlos Caldasso da. Análises de solo: tabelas para transformação de resultados

- analíticos e interpretação de resultados. 5. ed. Curitiba : EMATER-PARANÁ, 1998. 64 pp.
- 71 ONG, Ching K.; HUXLEY, Peter. *Tree-crop interactions: a physiological approach*. Wallingford : CAB International, 1996. 386 pp.
- 72 ONG, Ching. Alley cropping: ecological pie in the sky? *Agroforestry Today*, Nairobi, v. 6, n. 3, p. 8-10, jul./set. 1994.
- 73 ORAM, R. N. (Ed.). *Register of Australian herbage plant cultivars*. 3 ed. Melbourne : CSIRO, 1990. p.183-185.
- 74 PALM, Cheryl Ann. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 30, p. 105-124, 1995.
- 75 PAVAN, Marcos Antonio *et al.* *Manual de análise química do solo e controle de qualidade*. Londrina, 1992. (Circular IAPAR, 76). p. 12-27.
- 76 PERIN, Rogério; CORRÊA, José Carlos; CRAVO, Manoel da Silva *et al.* Desempenho produtivo de leguminosas arbustivas de múltiplo uso com baixos níveis de fósforo. In: *Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas (XXII; 1996 : Manaus)*. Resumos... Manaus : Universidade do Amazonas, 1996. p. 456-457.
- 77 PIMENTEL, David; HEICHEL, G. H. Energy efficiency and sustainability of farming systems. In: LAL, R.; PIERCE, F. (Ed.). *Soil management for sustainability*. U.S.A. : Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 113-123.
- 78 POUYÚ, Enrique; SIQUEIRA, José Oswaldo. Inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e fertilização NPK no crescimento de espécies florestais. In: *FertBIO 98: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; Reunião Brasileira sobre Micorrizas; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo; Reunião Brasileira de Biologia do Solo (XXIII; VII; V; II. : 1998 : Caxambu)*. Resumos... Lavras : Universidade Federal de Lavras, 1998. p. 782.
- 79 RACHIE, K. O. Intercropping tree legumes with annual crops. In: HUXLEY, Peter A. *Plant research and agroforestry*. Nairobi : International Council for Research in Agroforestry, 1983. p. 103-124. 617 pp.
- 80 RAO, M. R.; COE, Richard. Evaluating the results of agroforestry research. *Agroforestry Today*. Nairobi, v.4, n. 1, p. 4-9, jan.-mar. 1992.
- 81 RAO, M. R.; NIANG, A.; KWESIGA, F. *et al.* Soil fertility replenishment in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Today*. Nairobi, v. 10, n. 2, abr.-jun. 1998. p. 3-8.
- 82 REDHEAD, J. F.; MAGHEMBE, J. A.; NDUNGURU, B. J. The intercropping of grain legumes in agroforestry systems. In: HUXLEY, P. A. (Ed.). *Plant research and agroforestry*. Nairobi : International Council for Research in Agroforestry, 1983. p. 117-124.
- 83 RODERJAN, Carlos Vellozo; KUNIYOSHI, Yoshiko Saito. *Macrozoneamento florístico da Área de Proteção Ambiental – APA de Guaraqueçaba*. Curitiba, 1988. (Série Técnica FUFPEF, 15). 53pp.
- 84 ROSECRANCE, R.C.; BREWBAKER, J.L.; FOWNES, J.H. Alley cropping of maize with nine leguminous trees. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 17, p. 159-168, 1992.

- 85 RUSSEL, E. John; RUSSEL, E. Walter. Descomposicion del material vegetal. In: _____. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 4 ed. (traduz. da 9ª ed. inglesa por Gaspar Gonzalez y Gonzalez). Madrid : Aguilar, 1968. p. 279-305.
- 86 SAGGIN-JÚNIOR, Orivaldo José; SIQUEIRA, José Oswaldo. Dependência micorrízica de espécies arbóreas nativas. In: FertBIO 98: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; Reunião Brasileira sobre Micorrizas; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo; Reunião Brasileira de Biologia do Solo (XXIII; VII; V; II. : 1998 : Caxambu). Resumos... Lavras : Universidade Federal de Lavras, 1998. p. 783.
- 87 SÁNCHEZ, Pedro. A.; PALM, Cheryl A. Nitrogen and phosphorus in african soils: what role for agroforestry? *Agroforestry Today*. Nairobi, v. 8, n. 4, p. 14-16, out./dez. 1996.
- 88 SÁNCHEZ, Pedro. A. Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*. Amsterdam, v. 30, p. 5-55, 1995.
- 89 _____. Suelos del tropico: características y manejo. traducido del inglés por Edilberto Camacho. San José : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 1981. 660 pp.
- 90 SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, Dep. Química-ESALQ, 1974. 56p.
- 91 SCHLESINGER, William H.; HASEY, Mavis M. Decomposition of chaparral shrub foliage: losses of organic and inorganic constituents from deciduous and evergreen leaves. *Ecology*. Tempe, v. 62, n. 3, p. 762-774, 1981.
- 92 SCHLESINGER, William H.; WARING, Richard H. Forest ecosystems: concepts and management. Orlando : Academic Press Inc., 1985. 340 pp.
- 93 SCHROTH, G.; OLIVER, R.; BALLE, P. *et al.* Alley cropping with *Gliricidia sepium* on a high base status soil following forest clearing: effects on soil conditions, plant nutrition and crop yields. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 32, p. 261-276, 1995.
- 94 SEITZ, Rudi Arno. Manual da poda de espécies arbóreas florestais. Curitiba : Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1995. n.p.
- 95 SHARMA, R.; SHARMA, E.; PUROHIT, A.N. Dry matter production and nutrient cycling in agroforestry systems of mandarin grown in association with *Albizia* and mixed trees species. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 29, p. 165-179, 1995.
- 96 SILVA, Alcivânia de Melo; AMARAL, Eufraim Ferreira do; BROWN, Irving Foster. In: FertBIO 98: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas; Reunião Brasileira sobre Micorrizas; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo; Reunião Brasileira de Biologia do Solo (XXIII; VII; V; II. : 1998 : Caxambu). Resumos... Lavras : Universidade Federal de Lavras, 1998. p. 674.
- 97 SILVEIRA, Adriana P. D. Micorrizas. In: CARDOSO, Elke J. B. N.; TSAI, Siu M.; NEVES, Maria Cristina P. (Coord.) *Microbiologia do solo*. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 257-282.

- 98 STEWART, B. A.; LAL, R.; EL-SWAIFY, S. A. Sustaining the resource base of an expanding world agriculture. In: *Soil management for sustainability*. U.S.A. : Soil and Water Conservation Society, 1991. p. 125-144.
- 99 STOTT, D. E.; MARTIN, J. P. Synthesis and degradation of natural and synthetic humic material in soil. In: MacCARTHY, P. *et al.* (Ed.) *Humic substances in soil and crop sciences: selected readings*. Madison : American Society of Agronomy, Inc, 1990. p. 37-63.
- 100 TAN, Kim H. *Principles of soil chemistry*. 2 ed. New York : Marcel Dekker, 1993. 362 pp.
- 101 TAYLOR, Barry R.; PARKINSON, Dennis; PARSONS, William F. J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. *Ecology*. Tempe, v. 70, p. 97-104, 1989.
- 102 TEDESCO, M. J.; GIANELO, C.; BOHNEN, H. E.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solos, plantas e outros materiais. *Boletim Técnico n. 5*. 2 ed. Porto Alegre, Departamento de Solos de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.
- 103 TISDALE, Samuel L.; NELSON, Werner L.; BEATON, James D.; HALVIN John L. *Soil fertility and fertilizers*. 5 ed. New York : MacMillan, 1993. 634 pp.
- 104 TSAI, Siu Mui; ROSSETTO, Raffaella. Transformações microbianas do fósforo. In: CARDOSO, Elke J. B. N.; TSAI, Siu M.; NEVES, Maria Cristina P. (Coord.) *Microbiologia do solo*. Campinas : Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p. 231-242.
- 105 VAN LIER, H. N. Agroforestry as a multiple land-use strategy (preface). In: BUDD, W. W.; DUCHHART, I.; HARDESTY, L. H.; STEINER, F. (Ed.). *Planning for agroforestry*. Amsterdam : Elsevier, 1990. p. vii-viii. 338 pp.
- 106 VAN NAO, Tran. Agroforestry systems and some research problems. In: HUXLEY, Peter A. *Plant research and agroforestry*. Nairobi : International Council for Research in Agroforestry, 1983. p. 71-77.
- 107 VAN NOORDWIJK, M.; BROUWER, G. Review of quantitative root length data in agriculture. In: MACMICHAEL, B. L.; PERSSON, H. (Eds.). *Plant roots and their environment*. Amsterdam : Elsevier Science Publishers B. V., 1991. p. 515-525.
- 108 VAN NOORDWIJK, M.; LAWSON, G.; SOUMARÉ, A. *et al.* Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity. In: ONG, Ching K.; HUXLEY, Peter. *Tree-crop interactions: a physiological approach*. Wallingford : CAB International, 1996. p. 319-364.
- 109 VANDERMEER, John; VAN NOORDWIJK, Meine; ANDERSON, Jo *et al.* Global change and multi-species agroecosystems: concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. Amsterdam, v. 67, p.1-22, 1998.
- 110 VANLAUWE, B.; DENDOOVEN, L.; MERCKX, R. Residue fractionation and decomposition: the significance of the active fraction. *Plant and Soil*. Dordrecht, v. 158, p. 263-274, 1994.
- 111 VANLAUWE, B.; SANGINGA, N.; MERCKX, R. Decomposition of four *Leucaena* and *Senna* prunings in alley cropping systems under sub-humid tropical conditions: the process and its modifiers. *Soil Biology and Biochemistry*. Great Britain, v.29, n. 2, p. 131-137, 1997.

- 112 WIEDER, R.K.; LANG, E.E. A critique of analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, v.63, n.6, p.1636-42, 1982.
- 113 WIERSUM, K. F. Planning agroforestry for sustainable land use. In: BUDD, W. W.; DUCHHART, I.; HARDESTY, L. H.; STEINER, F. (Ed.) *Planning for agroforestry*. Amsterdam : Elsevier, 1990. p. 18-32. 338 pp.
- 114 WILSON, G.F.; KANG, B.T.; MULONGOY, K. Alley cropping: trees as sources of green-manure and mulch in the tropics. In: LOPEZ-REAL, J.M.; HODGES, R.D. (Ed.) *The role of microorganisms in a sustainable agriculture*. A.B. Academic Publishers : London, 1986. p. 165-181.
- 115 YAMOAH, C. F.; AGBOOLA, A. A.; WILSON, G. F. Nutrient contribution and maize performance in alley cropping systems. *Agroforestry Systems*. Dordrecht, v. 4, p. 247-254, 1986.
- 116 YOUNG, Anthony. *Agroforestry for soil conservation*. 4 ed. Wallingford : CAB International, 1994. 276 pp.