

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**CRESCIMENTO INICIAL E PRODUTIVIDADE EM
PLANTIOS MONOESPECÍFICOS E MISTOS DE
Eucalyptus urograndis E *Acacia mearnsii* EM SISTEMA
AGROSSILVICULTURAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Márcio Viera

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

**CRESCIMENTO INICIAL E PRODUTIVIDADE EM
PLANTIOS MONOESPECÍFICOS E MISTOS DE *Eucalyptus*
urograndis E *Acacia mearnsii* EM SISTEMA
AGROSSILVICULTURAL**

por

Márcio Viera

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Silvicultura, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

Orientador: Prof. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS, Brasil

2010

V665c Viera, Márcio, 1985-
Crescimento inicial e produtividade em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* E *Acácia mearnsii* em sistema agrossilvicultural / Márcio Viera. - 2010. 140 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, 2010.
"Orientador: Prof. Mauro Valdir Schumacher"

1. Engenharia florestal 2. Desenvolvimento sustentável
3. Consórcios agrossilviculturais 4. Plantio misto 5. Diversificação da produção I. Schumacher, Mauro Valdir II. Título

CDU: 630*22

Ficha catalográfica elaborada por
Patrícia da Rosa Corrêa – CRB 10/1652
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**CRESCIMENTO INICIAL E PRODUTIVIDADE EM PLANTIOS
MONOESPECÍFICOS E MISTOS DE *Eucalyptus urograndis* E *Acacia
mearnsii* EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL**

elaborada por
Márcio Viera

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA:

Mauro Valdir Schumacher, Dr. nat. techn.
(Presidente/Orientador)

Flávio Luiz Foletto Eltz, Ph.D. (UFSM)

Francine Neves Calil, Dr. (UFG)

Santa Maria, 29 de janeiro de 2010.

Dedico este trabalho a minha família, alicerce da minha formação, e a minha namorada, que me apoiaram dando muito incentivo durante a execução deste estudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas, órgãos e instituições que de maneira direta ou indireta, ajudaram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao CNPq pela bolsa concedida;

Ao orientador Professor Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, pela orientação, amizade, oportunidade e confiança depositada;

Aos co-orientadores, Prof. Dr. Solon Jonas Longhi e Dalvan José Reinert;

À empresa Votorantim Celulose e Papel Unidade Rio Grande do Sul, agora Fibria, especialmente aos funcionários Fausto Rodrigues Alves de Camargo, Mauro Riani Fernández, Luiz Otávio de Oliveira Ramos, Glodoaldo Arantes Ramiro e Leonardo Santos de Souza, pela colaboração, apoio técnico, logístico e financeiro na realização desta pesquisa;

Ao Sr. Miguel Bonotto, por ceder área particular em sua propriedade, para realização da pesquisa, bem como ajuda nas coletas;

À Engenheira Florestal Isabel Sandra Kleinpaul, pela ajuda na instalação na área experimental e pela amizade;

À Professora Maristela Machado Araújo pela disponibilização de espaço físico no Viveiro Florestal da UFSM, para armazenagem e processamento de amostras;

Aos acadêmicos Edenilson Liberalesso, Raquel Custódio D'Avila e Engenheiros Florestais Márcio Carlos Navroski e Eduardo Kaneip Londero, pela ajuda nas coletas de campo e no processamento em laboratório, além do companheirismo e amizade;

Aos Engenheiros Florestais Darlan Michel Bonacina, Joabel Barbieri e Lucas Zancan Pissinin, por todo o incentivo e amizade durante a graduação e, indiretamente, na pós-graduação;

À Engenheira Florestal, Professora Francine Neves Calil, pela ajuda no inglês, pela amizade e incentivo;

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, Eng. Florestais Rudi Witschoreck, Vicente Guilherme Lopes, Robson Schaff Corrêa, e aos acadêmicos do curso de Engenharia Florestal, Denise Szymczak, Mirian Lago Valente, Monique Ferraz, Luana Dessbesell e Gabriel Piovesan, pela ajuda e amizade;

Aos funcionários do Laboratório de Ecologia Florestal, Vitor Braga dos Santos e Anderson da Silva Rosa, pela realização das análises e pela amizade;

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Cerlene da Silva Machado (Tita), pelo apoio e amizade;

Aos meus pais (Izidro e Vivina), irmão (Marcos) e namorada (Franciele), por tudo;

A Deus, pela vida.

Tudo que fizermos com amor,
se transforma.

(Napoleon Hill)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE UM PLANTIO MISTO DE *Eucalyptus urograndis* E *Acacia mearnsii* EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL

AUTOR: MÁRCIO VIERA

ORIENTADOR: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 29 de janeiro de 2010.

O entendimento do desenvolvimento inicial de sistemas consorciados é vital para a tomada de decisões acerca de possíveis práticas para obtermos uma produção sustentável, em relação aos recursos ambientais, em um determinado sítio agrossilvicultural. Devido a isso, o presente estudo teve como objetivos avaliar a produtividade agrícola de sistemas agrossilviculturais com diferentes arranjos de espécies florestais; determinar o acúmulo de biomassa e nutrientes nas diferentes espécies envolvidas no sistema; avaliar o crescimento inicial de povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*; determinar a ocupação do solo pelo sistema radicular do *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em povoamentos monoespecíficos e mistos e a nodulação da *Acacia mearnsii* nestes sistemas. Para isso, instalou-se uma área experimental no município de Bagé-RS, a qual está constituída por cinco tratamentos com combinações e arranjos simples de *Eucalyptus urograndis* (E) e *Acacia mearnsii* (A) (100E; 100A; 50E:50A; 75E:25A e 25E:75A), num delineamento de blocos ao acaso com três repetições, com cultivo de milho nos seis primeiros meses. As avaliações de crescimento da parte aérea do sistema agrossilvicultural foram realizadas aos 6 e 18 meses de idade dos povoamentos. Já a avaliação do sistema radicular foi realizada aos 8 e 18 meses. O crescimento inicial em diâmetro, a altura total e a produção de madeira de *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii* não diferiram significativamente ($p < 0,05$) nos diferentes tratamentos. O consórcio das espécies florestais provocou um efeito positivo interespecífico no índice de área foliar do *Eucalyptus urograndis*. A biomassa total acima do solo foi igual estatisticamente ($p < 0,05$) no monocultivo e no plantio misto das espécies florestais, mas quando avaliado por compartimentos, verificou-se interação competitiva interespecífica do eucalipto sobre a acácia-negra, ocasionando a redução da formação de biomassa de copa. A produção total de biomassa do milho (*Zea mays*), consorciado com plantios monoespecíficos e mistos das

espécies florestais, não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos testados. Devido à grande exportação de nutrientes pela colheita do milho, deve-se, mesmo com a manutenção da palhada nos sistemas agrossilviculturais, fazer reposição nutricional principalmente de P e N em cultivos seguintes, em decorrência da grande quantidade que é exportada pelos grãos, que chega a 68,1 e 51,7%, respectivamente, em relação ao total acumulado na biomassa. O sistema radicular, independentemente do sistema de cultivo, atinge uma projeção máxima no entorno de 120 cm de distância do tronco da árvore aos 8 meses de idade; já aos 18 meses atinge toda a área útil de cada árvore. A densidade de raízes finas aos 8 meses de idade, tanto para o comprimento como para a biomassa do sistema radicular do *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em monocultivo e em plantio misto, possui o mesmo comportamento para a ocupação das diferentes camadas do solo. Não foram observadas interações interespecíficas ou intraespecíficas entre os sistemas radiculares do eucalipto e da acácia-negra até os 18 meses de idade. A biomassa de nódulos teve distribuição muito variável e, conseqüentemente, não apresentou diferenças entre o monocultivo e o cultivo misto de *Acacia mearnsii*. A maior densidade de raízes e nódulos encontra-se na camada de 5 a 10 cm de profundidade, nas proximidades do tronco da árvore e na linha de plantio seguido pela diagonal e entrelinha de plantio. A competição por nutrientes pode ser considerada mínima, entre o milho e as espécies florestais, devido à pequena projeção do sistema radicular das árvores durante o cultivo agrícola (6 meses iniciais).

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável, diversificação da produção, consórcios agrossilviculturais, plantio misto, interações.

ABSTRACT

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

INITIAL GROWTH AND PRODUCTIVITY IN MONOSPECIFIC AND MIXED STANDS OF *Eucalyptus urograndis* AND *Acacia mearnsii* IN AN AGROFORESTRY SYSTEM

AUTOR: MÁRCIO VIERA

ADVISER: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Date and Place of Defense: Santa Maria, January 29th, 2010.

Understanding the initial development in consorted systems are vital to decide about practices to obtain a sustainable productivity, in relation to environmental resources in an agrossilvicultural site. Due to this, this study had as objective: - to evaluate the agricultural productivity in agroforestry systems with different arrangements of the forest species; - to determine the biomass and nutrients accumulation in different species involved in the system; - to evaluate initial growth of monospecific and mixed stands of *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii*; - to determine soil occupation by root system of *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii* in monoespecific and mixed stands and also *Acacia mearnsii* nodules in these systems. For that, an experimental field was installed in Bagé-RS, which is composed by five treatments with simple combination and arrangements of *Eucalyptus urograndis* (E) and *Acacia mearnsii* (A) (100E; 100A; 50E:50A; 75E:25A e 25E:75A), in a randomized blocks design, with three repetitions, with corn cultivated in the six first months. Growth evaluations for the aerial part in agroforestry system were done at 6 and 18 months age, and root system evaluation was done at 8 and 18 months age. Initial growth in diameter, total height and wood production of *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii* didn't differ significantly ($p < 0.05$) in different treatments. Forest species consortion provided a positive interspecific effect in *Eucalyptus urograndis* leaf area index. Total above ground biomass was statistically equal ($p < 0.05$) between monoculture and mixed stands of forest species, but when it was evaluated in compartments, a competitive interspecific interaction was observed of eucalyptus upon black-wattle, causing a reduction on crown biomass formation. Total production of maize (*Zea mays*), consorted with monoespecific and mixed stands of forest species, did not differ statistically ($p > 0.05$) among the tested treatments. Due to the great nutrients export through maize harvest, it is necessary, even with straw

maintenance in agroforestry systems, to make a nutritional reposition, mainly with P and N in the following cultivars, because of the great amount that are exported through grains, which comes to 68,1 and 51,7%, respectively, in relation with the total accumulated on biomass. Root system, independent of cropping system, reaches a maximum projection in the vicinity of 120 cm from the stem of the tree at 8 months old, although at 18 months it reaches the whole utile area in each tree. Fine roots density at 8 months, both for root system length and biomass for *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii* in monoculture and in mixed stands, show the same behavior for soil layers occupation. Interspecific interactions and intraspecific interactions were not observed between root systems of eucalyptus and black-wattle, until 18 months. Nodules biomass showed a very variable distribution and didn't show differences between monoculture and mixed stand of *Acacia mearnsii*. Higher density of roots and nodules is located in the layer from 5 – 10 cm depth, close to tree stem followed by diagonal and planting inter-row. Nutrients competition can be considered as minimum, between maize and forest species, due to its small root system projection during crop cultivation (6 initial months).

Key-words: sustainable development; production diversity; agrosilvicultural consortions; mixed stand; interactions.

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Atributos químicos do solo na área experimental localizada no município de Bagé, Rio Grande do Sul.	48
TABELA 3.2 – Atributos físicos do solo na área experimental localizada no município de Bagé, Rio Grande do Sul.	48
TABELA 3.3 - Tratamentos utilizados na área experimental no município de Bagé-RS.....	50
TABELA 4.1 – Volume de madeira com casca ($m^3 ha^{-1}$) e IAF (Índice de Área Foliar) em plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> com 18 meses de idade.....	63
TABELA 5.1 – Biomassa de plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> aos 6 e 18 meses de idade.....	76
TABELA 5.2 – Biomassa das frações do milho em cada tratamento e posição amostral para a safra 2007/2008 (Bagé-RS).	78
TABELA 5.3 – Teores de nutrientes nas diferentes frações da biomassa de plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> aos 6 meses de idade.	82
TABELA 5.4 – Quantidade de nutrientes nas diferentes frações da biomassa de plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> aos 6 meses de idade.	84
TABELA 5.5 – Teores de nutrientes nas frações da biomassa do milho nos diferentes tratamentos.	86
TABELA 5.6 – Quantidade de macronutrientes nas frações da biomassa do milho nos diferentes tratamentos.....	87
TABELA 5.7 – Quantidade de micronutrientes nas frações da biomassa do milho nos diferentes tratamentos.....	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Representação esquemática das relações dos nutrientes e vantagens de um sistema agrossilvicultural ideal em comparação com sistemas agrícolas e florestais convencionais. Modificado de Copijn (1988).	31
FIGURA 3.1 – Localização do município de Bagé, Região da Campanha Meridional do Rio Grande do Sul.	45
FIGURA 3.2 – Localização da área experimental no município de Bagé-RS. (Imagem modificada do Google Earth, 2009).	46
FIGURA 3.3 – Diagrama climático da região durante o período de estudo.	47
FIGURA 3.4 – Arranjo espacial das espécies utilizadas no experimento.	50
FIGURA 4.1- Crescimento em diâmetro do coleto (6 meses de idade) e diâmetro à altura do peito (18 meses) em plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> . As barras verticais correspondem ao desvio padrão da média.	59
FIGURA 4.2- Distribuição diamétrica das árvores em plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> aos 18 meses de idade.	60
FIGURA 4.3- Crescimento em altura total (m) em plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> . As barras verticais correspondem ao desvio padrão da média.	62
FIGURA 5.1 – Aspecto da amostragem das frações madeira e casca em árvores de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i>	72
FIGURA 5.2 – Aspecto da amostragem da biomassa de milho no sistema agrossilvicultural.	73
Figura 5.3 – Percentagem de exportação de nutrientes em diferentes intensidades de colheita do milho em sistema agrossilvicultural.	90
FIGURA 6.1 – Distribuição dos pontos de amostragem de raízes finas em plantios monoespecíficos e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> , aos 6 e 18 meses de idade.	103
FIGURA 6.2 – Densidade de raízes finas (DRF < 2 mm), aos 8 e 18 meses em plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> , nas diferentes profundidades (A. 0-5; B. 5-10; C. 10-20 e D. 20-30 cm), em função da distância em relação	

ao tronco da árvore. (A existência de letras indica que há diferença significativa entre tratamentos pelo Teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância).....	106
FIGURA 6.3 – Densidade de raízes finas (DRF < 2 mm), aos 8 e 18 meses, em plantios monoespecíficos e mistos de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> , nas diferentes profundidades (A. 0-5; B. 5-10; C. 10-20 e D. 20-30 cm), em função da distância em relação ao tronco da árvore. (A existência de letras indica que há diferença significativa entre tratamentos pelo Teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância).....	109
FIGURA 6.4 – Distribuição da biomassa de nódulos aos 18 meses de idade em plantio monoespecífico e misto de <i>Acacia mearnsii</i> , nas diferentes profundidades (A. 0-5; B. 5-10; C. 10-20 e D. 20-30 cm) em função da distância em relação ao tronco da árvore.	111
FIGURA 6.5 – Distribuição espacial da densidade do comprimento de raízes finas (cm dm ⁻³) no sentido da entrelinha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.....	114
FIGURA 6.6 – Distribuição espacial da densidade do comprimento de raízes finas (cm dm ⁻³) no sentido da linha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.....	116
FIGURA 6.7 – Distribuição espacial da densidade do comprimento de raízes finas (cm dm ⁻³) no sentido da diagonal à linha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.....	117
FIGURA 6.8 – Distribuição espacial da densidade da biomassa de raízes finas (g dm ⁻³) no sentido das entrelinhas de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.....	119
FIGURA 6.9 – Distribuição espacial da densidade da biomassa de raízes finas (g dm ⁻³) no sentido da linha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.....	121
FIGURA 6.10 – Distribuição espacial de densidade de biomassa de raízes finas (g dm ⁻³) no sentido da diagonal à linha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.....	122

FIGURA 6.11 – Distribuição espacial da biomassa de nódulos (g dm^{-3}) no sentido da entrelinha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100A e B = 50E:50A (A)), aos 18 meses de idade.....	123
FIGURA 6.12 – Distribuição espacial da biomassa de nódulos (g dm^{-3}) no sentido da linha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100A e B = 50E:50A (A)), aos 18 meses de idade.	124
FIGURA 6.13 – Distribuição espacial da biomassa de nódulos (g dm^{-3}) no sentido da diagonal à linha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de <i>Acacia mearnsii</i> (A = 100A e B = 50E:50A (A)), aos 18 meses de idade.	125

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Aspectos da implantação da área experimental no município de Bagé-RS. Fotos: KLEINPAUL (2008).	135
APÊNDICE B - Aspectos da quantificação da biomassa acima do solo em plantios monoespecíficos e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i> aos 6 e 18 meses de idade.	136
APÊNDICE C - Aspectos da quantificação da biomassa acima do solo do milho em sistema agrossilvicultural.	137
APÊNDICE D - Aspectos da amostragem das raízes finas em plantios monoespecíficos e misto de <i>Eucalyptus urograndis</i> e <i>Acacia mearnsii</i>	138
APÊNDICE E - Aspectos de retirada das raízes finas do solo, através da lavagem com jato de água em peneira de 2 mm sobre uma de 0,34 mm, armazenamento em frascos com solução de álcool e conservação em ambiente refrigerado.....	139
APÊNDICE F - Aspectos da digitalização de raízes finas das espécies florestais e separação dos nódulos.	140

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	20
1.1 Referências bibliográficas.....	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Eucalipto.....	24
2.2 <i>Acacia mearnsii</i> De Wild.	25
2.3 Milho (<i>Zea mays</i> L.).....	26
2.4 Plantio misto.....	27
2.5 Sistemas agrossilviculturais	30
2.6 Biomassa e nutrientes.....	33
2.7 Sistema radicular	35
2.8 Referências bibliográficas.....	37
3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL	45
3.1 Localização da área experimental	45
3.2 Características climáticas	46
3.3 Características do solo	47
3.4 Características do relevo e da vegetação	49
3.5 Delineamento experimental	49
3.6 Instalação do experimento	51
3.7 Referências bibliográficas.....	51
4 CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES FLORESTAIS NUM PLANTIO MISTO EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL.....	53
4.1 Introdução	55
4.2 Material e métodos	56
4.2.1 Avaliação dendrométrica.....	56
4.2.2 Determinação do volume com casca	57
4.2.3 Determinação do índice de área foliar	57
4.2.4 Análise estatística	58
4.3 Resultados e discussão.....	58
4.3.1 Crescimento em diâmetro	58

4.3.2 Crescimento em altura	61
4.3.3 Volume de madeira com casca e índice de área foliar	62
4.4 Conclusões	64
4.5 Referências bibliográficas.....	64
5 BIOMASSA E NUTRIENTES NOS COMPONENTES DE SISTEMAS AGROSSILVICULTURAIS	68
5.1 Introdução	70
5.2 Material e métodos	72
5.2.1 Amostragem da biomassa florestal.....	72
5.2.2 Amostragem da biomassa do milho	73
5.2.3 Determinação dos nutrientes contidos na biomassa	74
5.2.4 Análise estatística	74
5.3 Resultados e discussão.....	75
5.3.1 Biomassa.....	75
5.3.1.1 <i>Biomassa das espécies florestais</i>	75
5.3.1.2 <i>Biomassa do milho</i>	77
5.3.2 Nutrientes	80
5.3.2.1 <i>Nutrientes nas espécies florestais</i>	80
5.3.2.2 <i>Nutrientes no milho</i>	85
5.3.3 Simulação da intensidade de colheita em sistemas agrossilviculturais	89
5.4 Conclusões	92
5.5 Referências bibliográficas.....	92
6 SISTEMA RADICULAR DE UM PLANTIO MISTO EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL.....	98
6.1 Introdução	100
6.2 Material e métodos	101
6.2.1 Amostragem do sistema radicular	101
6.2.2 Amostragem de nódulos	104
6.2.3 Apresentação dos dados e análise estatística.....	105
6.3 Resultados e discussão.....	105
6.3.1 Desenvolvimento inicial de raízes finas	105
6.3.1.1 <i>Comprimento de raízes finas</i>	105
6.3.1.2 <i>Biomassa de raízes finas</i>	108
6.3.1.3 <i>Biomassa de nódulos</i>	110

6.3.2 Ocupação do solo pelo sistema radicular	112
6.3.2.1 Densidade do comprimento de raízes finas ($cm\ dm^{-3}$)	112
6.3.2.2 Densidade da biomassa de raízes finas ($g\ dm^{-3}$)	118
6.3.2.3 Densidade da biomassa de nódulos ($g\ dm^{-3}$)	123
6.4 Conclusões	126
6.5 Referências bibliográficas.....	127
7 CONCLUSÃO GERAL	131
8 RECOMENDAÇÕES.....	133
APÊNDICES	134

1 INTRODUÇÃO GERAL

Com o recente reconhecimento e conscientização da importância dos valores ambientais, econômicos e sociais das florestas podem-se perceber, no Brasil, fortes tendências para mudanças significativas na forma de uso da terra, com a utilização de sistemas produtivos sustentáveis, que consideram, além da produtividade biológica, os aspectos socioeconômicos e ambientais. Nesse cenário, num momento em que a sociedade necessita de crescimento econômico e desenvolvimento social associado à preservação ambiental, os sistemas agrossilviculturais constituem-se em alternativas sustentáveis para aumentar os níveis de produção agrícola e florestal.

Os sistemas agrossilviculturais têm função relevante como alternativa de produção, permitindo equilibrar a oferta de produtos agrícolas e florestais, com a prestação de serviços ambientais (PASSOS, 2003). Esses sistemas são formas de uso e manejo de espécies lenhosas em associações deliberadas com cultivos agrícolas, na mesma área, para se obter benefícios das interações ecológicas e econômicas resultantes (VIVAN; FLORIANI, 2006). Segundo Young (1989) e Mattos (2006), a prática agrossilvicultural, quando comparada com o monocultivo florestal, apresenta diversas vantagens para o produtor rural, tais como: redução dos custos de implantação e manutenção, melhoria na alimentação do homem do campo, equilíbrio da demanda de mão-de-obra e maior variedade de produtos e/ou serviços. Além da melhoria do aspecto ambiental, em relação ao controle de erosão, conservação e manutenção da fertilidade do solo.

A definição da composição de espécies nesses sistemas deve ser elaborada de forma abrangente, considerando diversos aspectos, dentre os quais merecem destaques: integração entre as espécies, sustentabilidade econômica, impacto sobre a mão-de-obra local, variedades de plantas utilizadas, tratamentos culturais, logística de transporte, finalidade da produção e distância do mercado consumidor (CARVALHO, 2006).

A grande importância das espécies florestais está relacionada ao aporte de material orgânico e decomposição de raízes, as quais podem fornecer nutrientes, como é o caso do nitrogênio da acácia-negra, para o aumento da produtividade de culturas agrícolas. Estima-se que a acácia-negra, devido a sua associação simbiótica com bactérias nitrificantes, fixa até $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio atmosférico (N_2) em regiões tropicais e que o solo sob as florestas é 50% mais rico do que áreas de pastagens próximas (AUER; SILVA, 1992). Com

isso, a prática de cultivo agrícola em associação com essa espécie poderá trazer retorno socioambiental satisfatório, devido ao aumento da produtividade agrícola através da disponibilidade de nutrientes oferecidos pela acácia-negra, através da decomposição da manta florestal e de raízes mortas, podendo acarretar a diminuição da utilização de fertilizantes químicos na agricultura.

Além dos possíveis benefícios para as culturas agrícolas, o plantio misto de espécies florestais tem demonstrado um potencial significativo na melhora da fertilidade do solo (ciclagem de nutrientes), na produção de biomassa, no sequestro de carbono e, ao mesmo tempo, proporcionado outros benefícios através de uma diversificação dos produtos e de uma diminuição dos riscos de pragas e doenças, além de funcionar como um sistema silvicultural produzindo madeira de alto valor agregado (DEBELL et al., 1997; KHANNA, 1997; MONTAGNINI, 2000; KAYE et al., 2000; RESH et al., 2002).

O principal benefício do plantio de espécies fixadoras de nitrogênio atmosférico é o aumento da disponibilidade total de N no sistema solo-planta (KELTY; CAMERON, 1995). Além disso, a disponibilidade de nitrogênio pode aumentar com a aceleração da taxa de ciclagem, devido ao aumento dos níveis de N total no sistema solo-planta (KELTY; CAMERON, 1995). O N é transferido entre as espécies (*Acacia mearnsii* e *Eucalyptus urograndis*) através da decomposição de serapilheira (folhas, galhos finos, materiais reprodutivos e raízes, incluindo exsudados de raiz) e subsequente liberação (FORRESTER et al., 2005).

Fundamenta-se, dessa maneira, a necessidade de conduzir estudos referentes à dinâmica nutricional de plantios mistos e homogêneos em sistemas agrossilviculturais, visando encontrar técnicas para melhorar a produtividade com base no manejo sustentável, fornecendo melhorias ao sistema como um todo, sem causar danos ao meio ambiente.

Com isso, o presente estudo teve como principais objetivos avaliar a produtividade agrícola de sistemas agrossilviculturais com diferentes arranjos de espécies florestais; o acúmulo de biomassa e nutrientes nas diferentes espécies envolvidas no sistema; o crescimento inicial de povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*; a ocupação do solo pelo sistema radicular do *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em povoamentos monoespecíficos e mistos; e a nodulação da *Acacia mearnsii* nesses sistemas.

1.1 Referências bibliográficas

AUER, C. G.; SILVA, R. Fixação de nitrogênio em espécies arbóreas. In: CARDOSO, E. J. et al. **Microbiologia do solo**. Campinas: Ed. da UNESP, 1992. p. 160–167.

CARVALHO, J. E. U. Utilização de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais na Amazônia: capital social na concepção de políticas públicas: a importância socioeconômica e ecológica dos sistemas agroflorestais frente aos mecanismos de desenvolvimento. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. (Eds.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p. 169-176.

DEBELL, D. S.; COLE, T. C.; WHITESELL, C. D. Growth, development and yield of pure and mixed stands of *Eucalyptus* and *Albizia*. **Forest Science**, Lawrence, v. 43, n. 2, p. 286–298, apr./june 1997.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, H.; COWIE, A. L. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*, **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 209, n. 1/2, p. 147-155, apr. 2005.

KAYE, J. P. et al. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of *Eucalyptus* and *Albizia* trees. **Ecology**, New York, v. 81, n. 12, p. 3267–3273, dec. 2000.

KELTY, M. J.; CAMERON, I. R. Plot designs for the analysis of species interactions in mixed stands. **Community Forestry Research**. v. 74, p. 322–332, 1995.

KHANNA, P. K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 94, n. 1-3, p. 105–113, june 1997.

MATTOS, L. Capital social na concepção de políticas públicas: a importância socioeconômica e ecológica dos sistemas agroflorestais frente aos mecanismos de desenvolvimento. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. et al. (Eds.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2006. p. 343-365.

MONTAGNINI, F. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. **Forest Ecology and**

Management, Amsterdam, v. 134, n. 1-3, p. 257–270, sept. 2000.

PASSOS, C. A. M. **Aspectos gerais dos sistemas agroflorestais**. Cuiabá, MT: Universidade Federal do Mato Grosso, 2003.

RESH, S. C.; BINKLEY, D.; PARROTTA, J. A. Greater soil carbon sequestration under nitrogen-fixing trees compared with *Eucalyptus* species. **Ecosystems**, New York, v. 5, n. 3, p. 217–231, mar. 2002.

VIVAN, J. L. e FLORIANI, G. S. Construção participativa de indicadores de sustentabilidade em sistemas agroflorestais em rede na Mata Atlântica. In: VILCAHUAMÁN, L. J. M. et al. (Eds.). **Sistemas agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: práticas e tecnologias desenvolvidas**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2006. p. 9–34.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. ICRAF: Science and Practice of agroforestry. 1989. 276 p.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Eucalipto

O eucalipto ocorre naturalmente na Austrália, Indonésia e ilhas próximas, tais como Flores, Alor e Wetar. O eucalipto pertence à família das Myrtaceas, com cerca de 600 espécies dos gêneros *Eucalyptus*, 113 do gênero *Corymbia* e 13 do gênero *Angophora*, apresentando uma ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, extrapolando aquelas das regiões de origem (VITTI, 2002). Algumas dessas espécies possuem maior intensidade de crescimento em regiões tropicais e subtropicais, em consequência de sua ampla diversidade, favorecendo boa produtividade em condições diversas, além da boa qualidade da madeira, servindo para as mais variadas finalidades (LIMA, 1996; HASSE, 2006).

O primeiro registro da presença do eucalipto no Brasil é de 1825, como planta ornamental. As primeiras espécies foram oficialmente trazidas para o Brasil, com fins comerciais, em meados de 1900-1910, por Navarro de Andrade, para atender uma crescente demanda de madeira como fonte energética para as locomotivas a vapor da Companhia Paulista de Estrada de Ferro. Mas foi nos anos 50 que a importância econômica do eucalipto ganhou impulso no Brasil, com o início de sua utilização como matéria-prima para a produção de celulose e papel (HASSE, 2006).

Nenhum gênero foi tão largamente plantado em todo mundo como o *Eucalyptus*, o qual ocupa uma área em torno de sete milhões de hectares, dos quais mais da metade está plantada no Brasil. Isso representa mais de 50% da área com florestas exóticas implantadas. Existe mais de 100 espécies introduzidas no país, sendo o *Eucalyptus grandis* o mais plantado, com 55% da área total, seguido pelo *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*, com 17% e 9%, respectivamente. Segundo a ABRAF (2009), o Brasil possui cerca de 4.258.700 hectares plantados de eucalipto, dos quais o Rio Grande do Sul abriga 277.316 hectares.

Atualmente, o eucalipto está entre as principais fontes de matéria-prima para a produção de celulose e de carvão vegetal para siderurgia, bem como para fábricas de cimento, serrarias, postes, óleos essenciais, entre outras finalidades (LIMA, 1996). Segundo Reis et al.

(1989), muitas espécies de eucaliptos crescem relativamente bem em solos de baixa fertilidade. Isso intensifica o seu uso nas novas implantações florestais, em locais antes sem tradição silvicultural para essas espécies. Isso possivelmente pode estar ligado à baixa exigência nutricional e à eficiência de utilização de nutrientes dessas plantas.

Além do mais, um dos principais benefícios do cultivo dos eucaliptos, um bem natural renovável, é oferecer alternativa para o suprimento de madeira, diminuindo a pressão sobre as florestas nativas, pois mesmo que estas pudessem ser utilizadas de forma sustentável, não seriam suficientes para atender à crescente demanda de madeira, devido às dificuldades técnicas de manejo para que se obtenha a produtividade compatível com as necessidades das empresas.

2.2 *Acacia mearnsii* De Wild.

A *Acacia mearnsii* De Wild., conhecida como acácia-negra, é originária do leste da Austrália, desde a latitude 33° 43'S (Balburra) até 42° 58' (Hobart, Tasmânia). Ocorre naturalmente desde o nível do mar até altitudes superiores a 1.000 m na região de Cooma. A precipitação na sua região de ocorrência é, em geral, menor que 1.000 mm anuais, e nas regiões mais frias (Cooma, Monaro, Tableland, NSW), chega a ocorrer oitenta geadas por ano, com mínimas absolutas entre -10 °C e -12 °C (SIMON, 2005).

Trata-se de árvores monopodiais, de caule mais ou menos reto na maior parte da altura, que se caracterizam por apresentarem folhagem verde escura, de até 30 m de altura, crescendo bem em quase todos os tipos de solo. Suas folhas compostas, bipinadas, são semelhantes às da *Acacia decurrens*, sendo, porém, de um verde mais escuro, enquanto os folíolos individuais são considerados mais curtos em relação à sua largura (SCHÖNAU, 1969).

No Brasil, as primeiras mudas de acácia-negra foram plantadas em 1918, no Rio Grande do Sul, por Alexandre Bleckmann, no município de São Leopoldo. O primeiro plantio com fins comerciais foi estabelecido dez anos depois, por Júlio Carlos Lohmann, em Estrela, com tal êxito que em 1930 foram importadas sementes da África do Sul, onde era cultivada em função da qualidade e do teor de tanino em sua casca, para implantação de povoamentos em grande escala (OLIVEIRA, 1968; SIMON, 2005).

De acordo com Mantoefel (1991), após os primeiros plantios comerciais implantados no Rio Grande do Sul, foi grande o impulso de expansão da cultura, tendo sido comprovada sua eficiência no curtimento do couro com a instalação de indústrias de tanino a partir da década de 40. A extensão da área total plantada chegava, em 1991, a níveis de 120.000 ha, devido ao consumo consolidado principalmente pelas empresas que industrializam a casca, grandes incentivadoras do plantio pelos seus programas de fomento, direcionados principalmente a produtores de características minifundiárias.

A madeira da acácia é utilizada para energia, produção de carvão e exportação de cavacos para celulose, principalmente para o Japão. O tanino dessa espécie é destinado para o mercado interno, o qual supre os setores de curtume, adesivos, petrolífero, borrachas, entre outros (ABRAF, 2009). Devido a isso, atualmente a acácia-negra é o terceiro gênero mais plantado no Brasil, sendo que quase a totalidade dos plantios encontra-se no Rio Grande do Sul. Estima-se que o plantio atual no estado seja superior a 130 mil hectares, envolvendo cerca de 40 mil famílias de pequenos produtores rurais (SIMON, 2005).

Acácia-negra é explorada em rotações curtas de 7 a 9 anos, devido a seu rápido crescimento que, associado ao seu aproveitamento integral, torna-se uma essência de excelentes características para o reflorestamento e utilização industrial (SCHNEIDER, 1978). O rendimento médio obtido na exploração de uma floresta aos 6 anos de idade é o seguinte: 329 mst ha⁻¹ de madeira com casca tendo 1.577 árvores ha⁻¹ (SCHUMACHER et al., 2008). Até recentemente, os acacicultores visavam, prioritariamente, a produção de casca, que é usada pelas indústrias de tanino. Nos últimos anos, no entanto, em função da exportação como matéria-prima para a indústria de celulose, a madeira passou a ser a alternativa economicamente mais importante.

2.3 Milho (*Zea mays* L.)

Estima-se que o milho já era domesticado no México acerca de pelo menos 5.000 anos. Já pelo período de descobrimento das Américas, o milho constituía-se no alimento básico das populações indígenas (KRUG, 1966). É cultivado desde o nível do mar, península canadense de Gaspé e Bacia Amazônica, até altitudes próximas a 3.500 m, no altiplano da Bolívia e do Peru (BRIEGER; BLUMENSCHNEIN, 1966).

O milho caracteriza-se por servir tanto para o consumo humano como por ser empregado para alimentação de animais. Há uma grande diversidade nas condições de cultivo do milho no Brasil. Observa-se desde a agricultura tipicamente de subsistência, sem utilização de insumos modernos (produção voltada para consumo na propriedade e eventual excedente comercializado), até lavouras que utilizam o mais alto nível tecnológico, alcançando produtividades equivalentes às obtidas em países de agricultura mais avançada (MARQUES, 1990).

Apesar do alto potencial produtivo da cultura do milho, podendo chegar até uma produtividade de 10 toneladas por hectare de grãos por agricultores que adotam tecnologias adequadas, o que se observa na prática é que a produção é muito baixa e irregular, variando em média de 2,0 a 3,0 toneladas de grãos por hectare. Essa baixa produtividade deve-se aos baixos níveis de nutrientes presentes nos solos e ao uso inadequado de calagem e adubações, principalmente com nitrogênio e potássio (COELHO; FRANÇA, 1995).

A área cultivada com milho no Brasil para o ano de 2009 está estimada em mais de 14 milhões de hectares, sendo que, destes, um milhão e quatrocentos mil estão no estado do Rio Grande do Sul. O rendimento médio em grãos está estimado em 3.559 e 3.060 kg ha⁻¹, em nível nacional e estadual, respectivamente (CONAB, 2009).

O milho, devido à sua versatilidade de usos e funções, tem sido utilizado em sistemas agrossilviculturais com bons indicativos de rentabilidade. Estudo realizado por Moniz (1987) indica que o cultivo de milho consorciado com eucalipto, durante a fase inicial de desenvolvimento, promove uma redução de entorno de 51% no custo da implantação da espécie florestal e, além do mais, o milho não afetaria a sobrevivência da espécie florestal.

Oliveira et al. (1998) encontraram resultados superiores ao do autor citado anteriormente, onde sistemas intercalares com duas linhas de milho proporcionaram redução de custos na ordem de 95%. Com três e quatro linhas de milho, o autor verificou que, a produção não apenas permitiu a redução dos custos, como propiciou, respectivamente, 28 e 72% de acréscimo do valor do mesmo em renda adicional.

2.4 Plantio misto

O plantio misto de *Eucalyptus* com espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio apresenta um potencial para aumentar a produtividade florestal sem causar redução da

fertilidade do solo (FORRESTER et al., 2006a). Num consórcio entre leguminosa arbórea com eucalipto, a ocupação e utilização do solo se tornam mais eficientes, tanto física como quimicamente, em função das diferenças no sistema radicular e na exigência nutricional de cada espécie. Além desses efeitos, as espécies leguminosas podem aumentar a quantidade de nitrogênio disponível no solo devido à fixação simbiótica, pois a serapilheira formada a partir dessas plantas possuirá maiores teores de nitrogênio, o que torna mais rápido o processo de decomposição dos resíduos vegetais, em função da maior disponibilidade de nitrogênio para a atividade microbiana (VEZZANI, 1997).

Inúmeros estudos na literatura relatam que o plantio misto de eucalipto e espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio resulta em um maior incremento da produtividade das espécies envolvidas, estando isso atrelado às interações que ocorrem entre as espécies (KHANNA, 1997; BINKLEY et al., 2000; BAUHUS et al., 2000; FORRESTER et al., 2004; FORRESTER et al., 2005; COÊLHO, 2006; FORRESTER et al., 2006b; LACLAU et al., 2008). No entanto, existem outros estudos nos quais se observou pouca ou nenhuma vantagem no crescimento das espécies (JESUS; DIAS, 1988; DEBELL et al., 1997) e até mesmo o prejuízo no crescimento da outra espécie florestal (PARROTTA, 1999; HUNT et al., 2006).

Mas é difícil prever a combinação de espécies e sítios que poderiam apresentar esses benefícios ou restrições no crescimento. Dessa forma, o plantio misto bem-sucedido é aquele em que a produtividade das espécies envolvidas aumenta em relação ao seu monocultivo, reforçando a ideia de que esse aumento de produtividade em plantios mistos se deve principalmente à alta taxa de ciclagem de nutrientes. Por isso, é importante selecionar espécies fixadoras de nitrogênio, com fácil decomposição de serapilheira e alta taxa de ciclagem de nutrientes, assim como alta capacidade de fixação de N_2 (FORRESTER et al., 2006c).

Uma vasta revisão de literatura sobre plantios mistos, realizada por Forrester et al. (2006c) e Piotto (2008), revelou, além de que em geral as misturas de espécies florestais são mais produtivas do que as monoculturas, que os plantios mistos podem ter um importante papel em satisfazer a necessidade econômica através de rotações sortidas e, ainda, fornecer benefícios ecológicos. Poder-se-ia, também, introduzir culturas agrícolas, as quais usufruiriam de uma possível disponibilidade de nutrientes advinda das espécies florestais, principalmente das leguminosas (KLEINPAUL, 2008).

Segundo Vandermeer (1989), o aumento ou redução do crescimento provocado pelo plantio intercalado de espécies florestais decorrem das interações que as espécies exercem entre si, podendo advir da concorrência, da redução competitiva ou da facilitação.

A concorrência ocorre quando duas ou mais plantas ou populações interagem de modo a que pelo menos uma exerça um efeito negativo sobre a outra (crescimento ou mortalidade) (VANDERMEER, 1989). A redução competitiva no plantio misto, também conhecida como complementaridade ou princípio da concorrência de produção, ocorre quando um recurso interespecífico para limitar a concorrência é menor do que nas monoculturas (KELTY; CAMERON, 1995). Isso muitas vezes ocorre quando há uma compartimentação acima do solo (luz) ou abaixo do solo (água ou nutrientes) (KELTY; CAMERON, 1995), que conduz à separação e, por fim, a um nicho mais eficiente de utilização de recursos do sítio. A facilitação ocorre quando uma espécie tem um efeito positivo sobre a outra (VANDERMEER, 1989), por exemplo, quando uma espécie que fixa nitrogênio aumenta o crescimento da outra espécie que não é fixadora de nitrogênio, devido ao aumento da disponibilidade de nitrogênio.

Quando as interações positivas são dominantes (facilitação ou redução competitiva), povoamentos mistos serão mais produtivos do que monoculturas. No entanto, se a competição interespecífica é maior do que essas interações positivas, as misturas serão menos produtivas. É difícil prever o resultado das diversas interações em povoamentos mistos, até porque a natureza dessas interações pode mudar o desenvolvimento dos povoamentos.

Todavia, informações de espécies bem-sucedidas em arranjos mistos, proporções adequadas de cada espécie e locais adequados para as combinações são difíceis de serem obtidas antes do final de uma rotação. Parrota (1999) relata que existem poucos estudos analisando essa dinâmica de crescimento de plantações mistas de eucaliptos e espécies fixadoras de N até o final do ciclo (colheita florestal).

Dentre as espécies fixadoras de nitrogênio, no Rio Grande do Sul, destaca-se a acácia-negra que, através da associação biológica com bactérias do gênero *Rhizobium*, faz com que o nitrogênio atmosférico seja reduzido, tornando-se disponível às plantas (SIMON, 205). Segundo o autor, ele é reciclado através da deposição de um grande volume de folhas e galhos que, deixados sobre o solo, fornecerão proteção e proporcionarão a manutenção da capacidade produtiva deste.

2.5 Sistemas agrossilviculturais

Os sistemas agrossilviculturais são caracterizados pela combinação da produção agrícola e florestal simultânea ou consecutiva, de forma deliberada, na mesma unidade de terreno, almejando um aumento de produtividade do solo através de um rendimento sustentado, por meio da aplicação de técnicas de manejo compatíveis com as práticas culturais da população local (KING; CHANDLER, 1978; NAIR, 1989; MEDRADO, 1998).

De acordo com Nair (1989), podem-se classificar os sistemas agrossilviculturais com base nos aspectos estruturais, funcionais, socioeconômicos e ecológicos. Estruturalmente, deve-se considerar a mistura espacial dos componentes lenhosos, a estratificação vertical dos componentes e o arranjo temporal dos mesmos. Funcionalmente, depende da função do sistema, seja de produção ou serviço. Economicamente, podem diferir em relação às entradas ou às escalas de manejo e objetivos comerciais. Ecologicamente, podem-se definir os sistemas em função das regiões ecológicas.

Com os recentes reconhecimento e conscientização sociais da importância dos valores ambientais, econômicos e sociais das florestas, podem-se perceber, no cenário mundial, fortes tendências para mudanças significativas na forma de uso da terra, com a utilização de sistemas produtivos sustentáveis que considerem, além da produtividade biológica, os aspectos sócioeconômicos e ambientais (CARVALHO, 2006). Diante desse fato, resalta o autor, e dado o caráter de múltiplo propósito das árvores, os sistemas agrossilviculturais constituem-se em alternativas sustentáveis para aumentar os níveis de produção agrícola e florestal.

Nesse contexto, os principais benefícios dos sistemas agrossilviculturais estão baseados em sua maior racionalidade do ponto de vista ecológico e econômico, pois permitem aliar o aspecto conservacionista das florestas com o ciclo curto das culturas agrícolas (COPIJN, 1988 – Figura 2.1). De acordo com Copijn (1988), Young (1989), Peneireiro (2002), os benefícios gerados pelos sistemas agrossilviculturais podem ser divididos em biológicos e socioeconômicos.

Os aspectos biológicos referem-se à otimização na utilização do espaço da propriedade pelo aproveitamento dos diferentes estratos verticais (vegetação rasteira, arbustos, árvores altas), resultando em maior produção de biomassa (quantidade de matéria orgânica gerada pelas plantas); ao melhoramento das características químicas, físicas e biológicas do solo, devido à decomposição e incorporação da matéria orgânica e penetração das raízes das

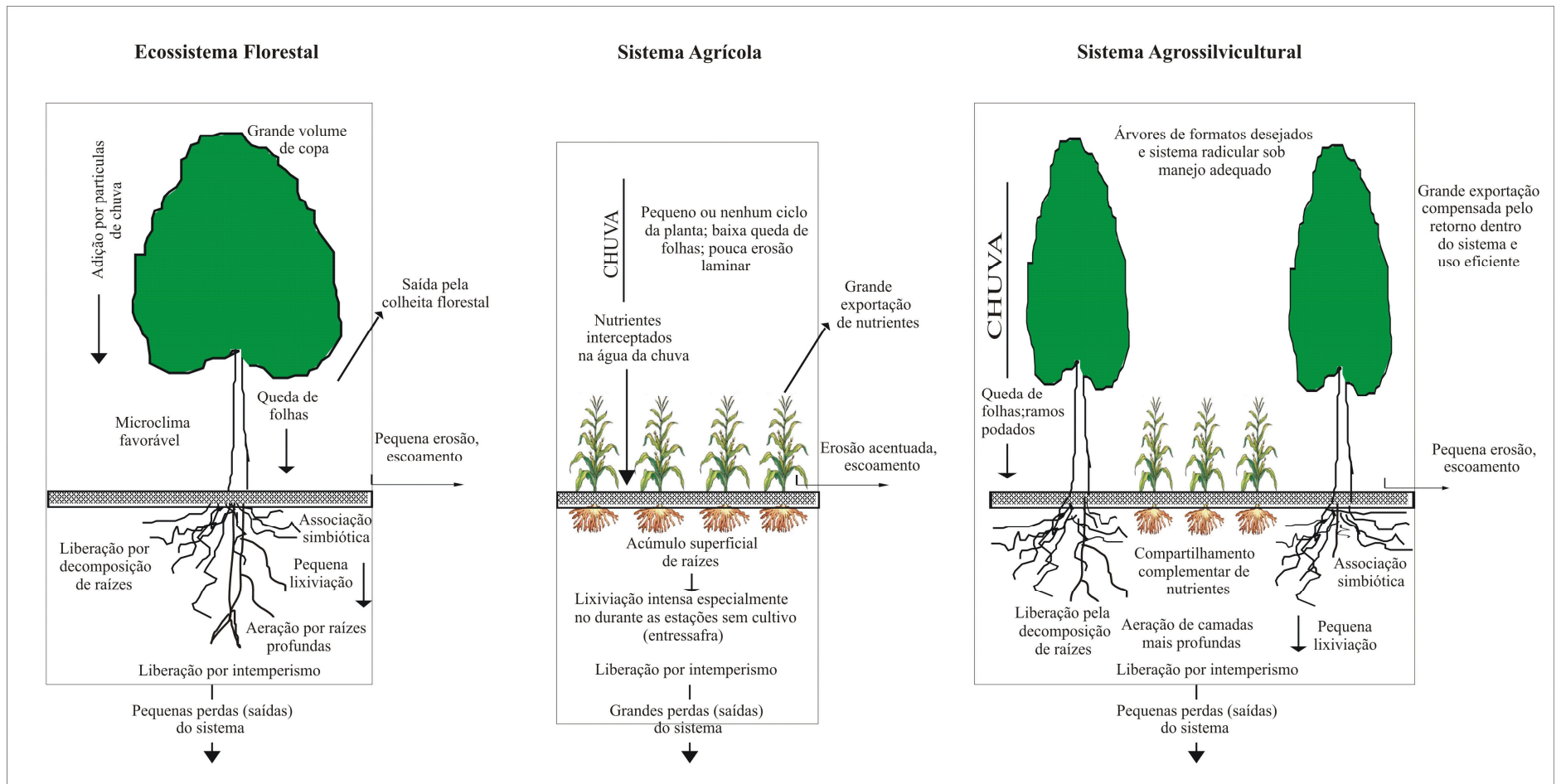


Figura 2.1 – Representação esquemática das relações dos nutrientes e vantagens de um sistema agrossilvicultural ideal em comparação com sistemas agrícolas e florestais convencionais. Modificado de Copijn (1988).

árvores no solo; à produção total obtida de uma mistura de árvores e culturas agrícolas ou criações de animais, que é frequentemente maior que a produzida nas monoculturas; à maior facilidade em se adaptar a um manejo agroecológico, na medida em que a diversidade de possíveis ataques de pragas e doenças são distribuídos entre várias espécies de plantas, diminuindo os danos à cultura de maior valor comercial.

Já os aspectos econômicos e sociais dizem respeito a uma maior variedade de produtos e/ou serviços da mesma área de terra (alimentos, lenha, adubo verde, plantas medicinais e ornamentais, sombra, quebra-ventos e embelezamento da paisagem); à distribuição mais uniforme do serviço e da receita gerada, devido a um trabalho contínuo e à obtenção de diversas colheitas; à diversidade de produtos colhidos, que reduz dois tipos de risco: o de impacto econômico derivado da flutuação de preços no mercado e o de perda total da colheita, quando se tem apenas uma cultura.

A grande importância das espécies florestais está relacionada ao aporte de material orgânico e à decomposição de raízes, as quais podem fornecer nutrientes, como é o caso do nitrogênio da acácia-negra, para o aumento da produtividade de culturas agrícolas. Com isso, a prática de cultivo agrícola em associação com essa espécie poderá trazer retorno sócioambiental satisfatório, devido ao aumento da produtividade agrícola através da disponibilidade de nutrientes oferecidos pela acácia-negra, através da decomposição da manta florestal e de raízes mortas, acarretando a diminuição da utilização de fertilizantes químicos na agricultura.

Segundo Copijn (1988) e Young (1989), a incorporação de árvores em sistemas de produção de alimentos é uma prática com longa história, principalmente em regiões tropicais e subtropicais do planeta, nas quais os produtores manejam árvores e animais juntamente com a atividade agrícola, a fim de satisfazerem suas necessidades básicas de alimento, madeira, lenha, forragem e de ajudar na conservação dos recursos naturais disponíveis na propriedade (solo, água, biodiversidade, entre outros).

No Brasil, segundo Medrado (2000), a maioria dos produtores rurais descarta o plantio de árvores em sua propriedade, pelo fato de elas ocuparem áreas destinadas à agricultura ou à pecuária. Dessa forma, a agrossilvicultura constitui-se numa excelente opção para reverter tal situação, visto que esses sistemas apresentam várias vantagens frente aos sistemas monoculturais, tais como utilização mais eficiente do espaço, redução efetiva da erosão, sustentabilidade da produção e estímulo à economia de produção.

Além disso, essa introdução de culturas agrícolas com espécies florestais teria a função social de fixar o homem no campo. Principalmente pela demanda de mão-de-obra e

ausência de sazonalidade, devido à sua distribuição mais uniforme durante o ano (tratos culturais e colheita ocorrem em épocas diferentes), e da melhora das condições de vida, por meio da diversidade de produção (MEDRADO, 2000; MERCER, 2004).

Alguns estudos têm demonstrado a importância dos cultivos consorciados de espécies florestais com milho. Como observado por Marques (1990), em consórcio com paricá (*Schizolobium amazonicum*), tatajuba (*Bagassa guianensis*) e eucalipto (*Eucalyptus guinensis*) no Pará. Observado por Moniz (1987), em consórcio com eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. Muell) na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais. E por Marin et al. (2006), num consórcio com *Gliricidia sepium* (leguminosa arbórea), no Agreste Paraibano.

2.6 Biomassa e nutrientes

O conhecimento da biomassa e da quantidade de nutrientes presentes nela e no solo é de fundamental significado para o entendimento da estrutura de um dado ecossistema (LIMA, 1996; FREITAS, 2000). Segundo Golley (1975), a biomassa representa a matéria orgânica armazenada no ecossistema, sendo utilizada por muitos países em desenvolvimento como fonte de energia, devido ao seu rápido crescimento, produtividade e possibilidades de uso.

Com a informação sobre biomassa e sua concentração de elementos minerais, pode-se calcular o reservatório de nutrientes minerais da floresta (GOLLEY, 1975). Segundo Curlin (1970), a distribuição da biomassa nos diferentes componentes da planta, entre os diversos componentes arbóreos, geralmente segue a seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas. Em florestas localizadas em regiões de clima tropical ou subtropical, observa-se geralmente uma produtividade em biomassa bem mais elevada do que nas florestas em regiões de clima temperado ou boreal (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993).

As principais entradas de nutrientes no ecossistema florestal ocorrem via intemperismo, precipitação, fixação assimbiótica e simbiótica de nitrogênio e fertilização. Já a saída de nutrientes ocorre via lixiviação, erosão, volatilização e remoção do material orgânico, com a exploração de diferentes partes da planta, retirado da manta florestal (REIS; BARROS, 1990). Os autores mencionados ainda comentam que a intensidade de perdas de nutrientes por meio da lixiviação depende do tipo de manejo imposto ao ecossistema, sendo que essas perdas podem aumentar consideravelmente após a colheita, especialmente quando há queima de resíduos orgânicos seguida de chuva de alta intensidade.

A floresta absorve nutrientes do solo. Parte desses nutrientes é acumulada nas árvores (folhas, ramos, casca, lenho, raízes, etc.) e na vegetação de sub-bosque, outra parte é devolvida ao solo com a decomposição da serapilheira e demais resíduos. A manutenção do estoque de nutrientes, bem como da produtividade de biomassa das florestas, está relacionada com o processo de ciclagem de nutrientes. O processo de ciclagem de nutrientes, juntamente com o de fixação de energia luminosa, possibilita a síntese da matéria orgânica e propicia o início da cadeia de detritos, da qual dependem a sobrevivência e o entrelaçamento de todas as formas de vida da floresta (POGGIANI; MONTEIRO Jr., 1990).

Segundo Freitas (2000), em ecossistemas de florestas plantadas e naturais, a ciclagem de nutrientes configura-se como um fator essencial para avaliar o papel do sistema de manejo adotado, em favor do uso sustentado desses sistemas naturais, conjuntamente com o do sistema silvicultural mais apropriado para a manutenção da produtividade.

Devido à grande quantidade de matéria-prima demandada para o uso em escala industrial, as práticas silviculturais aplicadas nos povoamentos podem causar a redução no estoque de nutrientes do solo, comprometendo a produtividade contínua do ecossistema no decorrer das rotações de cultivo (BARICHELLO, 2003; REIS et al., 1985).

A exportação de nutrientes pela colheita florestal, segundo Ferreira et al. (2004), seria um dos fatores a ser considerado, pois há preocupação com a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em condições de baixo suprimento de elementos essenciais às árvores pelo solo. As explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pelo exaurimento do solo.

Devido a isso, o manejo eficiente de uma plantação florestal está ligado à ciclagem de nutrientes para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo com a queda do folheto e o que é assimilado novamente pelas raízes. Portanto, estimar a quantidade de macro e micronutrientes através dos diferentes componentes é importante para a compreensão de um manejo conveniente (LA TORRACA et al., 1984).

Para Gonçalves (2000), a compreensão do ciclo de nutrientes, no que diz respeito à velocidade de fluxo, entradas e perdas, interação solo-planta, distribuição de componentes da parte aérea e sistema radicular ao longo do tempo, são fundamentais para a definição de tecnologias de manejo florestal adequadas.

A distribuição dos nutrientes nos vários componentes da árvore tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas, pois o manejo intensivo das florestas plantadas pode aumentar significativamente a produção de

biomassa, aumentando também a exportação de nutrientes do sítio, desestabilizando a produtividade do solo (BELLOTE; SILVA, 2000). Para esses autores, cada componente possui concentração de nutrientes relacionada com suas funções, havendo um gradiente que geralmente obedece à sequência de concentração folha > casca > ramo > tronco, sendo que, dentro do mesmo compartimento podem existir variações significativas de concentração.

De acordo com Lopes e Garcia (2002), a vantagem de consorciar culturas agrícolas e pastagens com uma cultura florestal está em se explorar níveis mais profundos do solo. Essa combinação, segundo os autores, permite que as raízes das árvores, que se desenvolvem mais profundamente, absorvam nutrientes que no futuro serão incorporados à camada mais superficial do solo, por meio das folhas das árvores que caem naturalmente e dos ramos que serão retirados durante as podas de condução. Já as culturas agrícolas de ciclo curto possuem raízes mais superficiais, beneficiando-se da matéria orgânica produzida pelas árvores.

A integração das espécies deve levar em consideração as características das plantas, tanto no que diz respeito ao melhor aproveitamento da radiação solar, da água e dos nutrientes quanto aos aspectos relacionados com a época de produção de frutos (CARVALHO, 2006). Silva (2007) considera importante no manejo de sistemas agroflorestais associarem o período de maior disponibilidade de nutrientes no sistema à prática da poda, com a demanda da cultura de interesse comercial, pois, assim, há um aumento de nutrientes no solo, reduzindo a quantidade aplicada de adubos químicos no mesmo.

2.7 Sistema radicular

O sistema radicular é um dos principais componentes do ecossistema florestal, desempenhando processos vitais para o desenvolvimento das plantas, tais como absorção de água e nutrientes do solo, sustentação da estrutura arbórea e estocagem de nutrientes e carbono (QUING-CHENG, 2002; AL AFAS et al., 2008). O crescimento e a quantidade de raízes têm influência significativa na alocação da produtividade primária, assim como na ciclagem de nutrientes (FAHEY; HUGHES, 1994).

A quantidade de raízes finas é influenciada por condições de sítio, clima, tipos de solo, estrutura da floresta, espécies componentes, idade das árvores (SCHENK, 2006; BIAO et al.,

2007); por fatores inerentes ao solo, tais como fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, textura, temperatura; pelas circunstâncias em que a espécie se desenvolve, como, por exemplo, competição, espaçamento entre as árvores (GONÇALVES; MELLO, 2004); além de impedimentos físicos que podem dificultar o pleno desenvolvimento das raízes (REIS et al., 1989).

A eficiência e a capacidade de ocupação do solo pelo sistema radicular são determinadas pela área superficial de raízes finas, distribuição de raízes no perfil do solo, comprimento específico de raízes, arquitetura radicular, plasticidade de raiz, velocidade de absorção de água e nutrientes. Esses processos que acontecem no solo regulam a facilitação e a competição entre as espécies em povoamentos mistos (BAUHUS et al., 2000; QUING-CHENG, 2002; SCHMID, 2002; SHIBU et al., 2006).

A biomassa de raízes finas de espécies arbóreas é responsável por 3 a 30% da biomassa total das raízes (VOGT et al., 1986), mas o crescimento delas poderia chegar a 50 – 75% da produtividade primária da floresta (HENDRICK; PREGITZER, 1992). A quantidade de nitrogênio disponibilizado ao solo pela morte e decomposição de raízes finas pode ser 18-58% maior do que pela serapilheira, o mesmo ocorrendo para o carbono e outros nutrientes (McCLAUGHERTY et al., 1982; VOGT et al., 1986; RAICH; NADELHOFFER, 1989).

As raízes finas desempenham importantes funções sobre o carbono e a ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, devido à alta taxa de alocação de carboidratos abaixo do solo e devido à rápida decomposição das mesmas em relação à biomassa acima do solo (PERSSON; STADENBERG, 2009). No entanto, pouco se conhece sobre as possíveis competições do sistema radicular das espécies envolvidas num plantio florestal misto, devido a isso, o entendimento das interações interespecíficas e intraespecíficas das raízes são necessários para desenvolver os modelos mais adequados desses sistemas (KUEFFER et al., 2007).

Silva (2007), estudando o desenvolvimento radicular de plantios mistos, observou que o *Eucalyptus grandis* apresentou uma elevada exploração radicular induzindo as raízes de *Acacia mangium* a crescerem próximas aos seus troncos nas camadas onde a pressão competitiva era menor. A maioria das espécies tende a concentrar suas raízes finas nos 30 primeiros centímetros de profundidade do solo (BAUHUS et al., 2000; SHIBU et al., 2006; LOPES, 2009), em decorrência de essa camada apresentar-se mais enriquecida nutricionalmente através da ciclagem biogeoquímica (FORRESTER et al., 2005; LACLAU et al., 2008).

Em relação à nodulação de espécies leguminosas, ela está relacionada a fatores edafoclimáticos, disponibilidade de nitrogênio mineral no sistema, intensidade e forma de manejo das espécies (BODDEY et al., 2000). A grande maioria das espécies florestais, quando em sua fase inicial de desenvolvimento, necessita de maior suprimento de fósforo pelo reduzido desenvolvimento do sistema radicular.

Por isso, as leguminosas dependem da simbiose como fonte de nitrogênio e necessitam de altas quantidades de fósforo no solo para suprir a necessidade dos nódulos (CALDAS et al., 2009). Esse fato foi observado por Binkley et al. (2003), que encontraram redução do crescimento de espécies fixadoras de N₂ devido à redução de disponibilidade de P no solo.

2.8 Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário brasileiro da ABRAF**: ano base 2008. Brasília, 2009. 120 p.

AL AFAS, N. et al. Growth and production of a short-rotation coppice culture of poplar-IV: fine root characteristics of five poplar clones. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, n. 6, p. 494–502, june 2008.

BARICHELLO, L. R. **Quantificação da biomassa e dos nutrientes em floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil**. 2003. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2003.

BAUHUS, J.; KHANNA, P. K.; MENDEN, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Canadian Journal Forestry Research**, Montreal, v. 30, n. 12, p. 1886-1894, dec. 2000.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: Gonçalves, J. L. M. e Benedetti, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. 427 p.

BIAO, Z. et al. Space-time dynamics of fine root biomass of six forests in the Maoershan forest region, northeast China. **Frontiers of Biology in China**, Beijing, v. 2, n. 2, p. 136-142, apr. 2007.

BINKLEY, D. et al. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Facaltaria moluccana*. **Forest Ecology and**

Management, Amsterdam, v. 182, n.1-3, p. 93-102, sept. 2003.

_____; GARDINA, C.; BASHKIN, M. A. Soil phosphorus pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia falcataria*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 241–247, apr. 2000.

BODDEY, R. M. et al. Use of the 15 N natural abundance technique to quantify biological nitrogen fixation by woody perennials. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Bonn, v. 57, n. 3, p.235-270, july 2000.

BRIEGER, F. G.; BLUMENSCHNEIN, A. Botânica e origem do milho. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. **Cultura e adubação do milho**. São Paulo, 1966. 541 p.

CALDAS, G. G. et al. Efeito da fertilização fosfatada na produção de raízes, liteira e nodulação de *Mimosa caesalpinifolia* Bent. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 237-244, mar./abr. 2009.

CARVALHO, J. E. U. Utilização de espécies frutíferas em sistemas agrofloretais na amazônia. In: Gama-Rodrigues, A. C. **Sistemas agrofloretais: Bases Científicas para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006. p. 169-176.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: adubação e nutrição**. 2. ed. ampl. [S.l.]: POTAFOS, 1995. 25 p. (Arquivo do Agrônomo, n. 2).

COÊLHO, S. R. de F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas nativas**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiróz/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2006.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Brasília, [200-]. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em: 10 nov. 2009.

COPIJN, A. N. **Agrossilvicultura sustentada por sistemas agrícolas ecológicamente eficientes**. Tradução de Anna Cecília Cortines. Rio de Janeiro: PTA, 1988. 46 p.

CURLIN, J. W. Nutrient cycling as a factor in site productivity and forest fertilization. In: Youngberg, C. T. e C. B. Davey. (Eds.). **Tree growth and forest soils**. Oregon: Oregon State University Press, 1970. p. 313-326.

DEBELL, D. S.; COLE, T. C.; WHITESELL, C. D. Growth, development and yield of pure and mixed stands of *Eucalyptus* and *Albizia*. **Forest Science**, Lawrence, v. 43, n. 2, p. 286–298, apr./june 1997.

FAHEY, T. J.; HUGHES, J. W. Fine root dynamics in a northern hardwood forest ecosystem. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 82, n. 3, p. 533-548, june 1994.

FERREIRA, C. A. et al. Pesquisas sobre nutrição de pinus no Sul do Brasil. **Revista da madeira**, Curitiba, PR, ano 14, n. 83, ago. 2004.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, H.; COWIE, A. L. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 209, n. 1/2, p. 147-155, apr. 2005.

_____ et al. Effects of changing the supply of nitrogen and phosphorus on growth and interactions between *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* in a pot trial. **Plant and Soil**, The Hague, v. 280, n. 1/2, p. 267–277, feb. 2006a.

_____; BAUHUS, J.; COWIE A. L. et al. Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixing trees: A review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p. 211-230, sept. 2006c.

_____; _____; _____. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p. 275-284, sept. 2006b.

_____; _____; KHANNA, P. K. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1/2, p. 81–95, may 2004.

FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização no município de Alegrete – RS.** 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

GOLLEY, F. B. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de floresta tropical úmida.** Tradução de Eurípides Malavolta. São Paulo: EPU, 1975. 256 p.

GONÇALVES, J. L. M. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, 2000. 427 p.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. The root System of trees. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba, SP: IPEF, 2004. p. 223-267.

HASSE, G. **Eucalipto**: histórias de um imigrante vegetal. Porto Alegre: Já Editores, 2006. 127 p.

HENDRICK, L. R.; PREGITZER, S. K. The demography of fine root in the northern hardwood forest. **Ecology**, New York, v. 73, n. 3, p. 1094-1104, june 1992.

HUNT, M. A. et al. Competition between plantation *Eucalyptus nitens* and *Acacia dealbata* weeds in northeastern Tasmania. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p. 260-274, sept. 2006.

JESUS, R. M.; DIAS, G. B. N. *Eucalyptus/Leucaena* mixture experiment – growth and yield. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 39, p. 41-46, 1988.

KELTY, M. J.; CAMERON, I. R. Plot designs for the analysis of species interactions in mixed stands. **Community Forestry Research**, v. 74, p. 322–332, 1995.

KHANNA, P. K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 94, n. 1-3, p. 105–113, June 1997.

KING, K. F. S.; CHANDLER, M. T. **The wasted lands**: the programe of world of ICRAF. Nairobi, Kenya: ICRAF, 1978. 36 p.

KLEINPAUL, I. S. **Plantio misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agroflorestal**. 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

KRUG, C. A. O milho no mundo. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE POTASSA. **Cultura e adubação do milho**. São Paulo, 1966. 541 p.

KUEFFER, C. et al. Strong below-ground competition shapes tree regeneration in invasive *Cinnamomum verum* forests. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 95, n. 2, p. 273-282, mar. 2007.

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

LACLAU, J. P. et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil I. Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 3905–3917, june 2008.

LIMA, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2 ed. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1996. 301 p.

LOPES, W. P.; GARCIA, A. **A importância e o valor das florestas na pequena propriedade rural**. Vitória: [s.n.], 2002. 28 p.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de Cima da Serra, RS**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2009.

MANTOEFEL, J. C. Reflorestamento no setor privado - acacicultura. In: SEMINÁRIO SOBRE SITUAÇÃO FLORESTAL DO RIO GRANDE DO SUL, 1., 1991. **Anais...** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC: Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Rio Grande do Sul, 1991. p. 108-114.

MARIN, A. M. P.; MENEZES, E. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 555-564, maio/jun. 2006.

MARQUES, L. C. T. **Comportamento inicial de paricá, tatajuba e eucalipto, em plantio consorciado com milho e capim-marandu, em Paragominas, Pará**. 1990. 73 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.

McCLAUGHERTY, C. A.; ABER, J. D.; MELILLO, J. M. The role of fine root in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. **Ecology**, New York, v. 63, n. 5, p. 1481–1490, oct. 1982.

MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. In: Galvão, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais**. Brasília: Embrapa, 2000. p. 269-312.

MEDRADO, M. J. S. Caracterização, avaliação e desenvolvimento de sistemas agroflorestais. Colombo: Embrapa Florestas, 1998. 15 p.

MERCER, D. E. Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 61, n. 1-3, p.311–328, July 2004.

MONIZ, C. V. D. **Comportamento inicial do eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. Muell), em plantio consorciado com milho (*Zea mays* L.) no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais.** 1987, 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1987.

NAIR, P. K. R. Classification of agroforestry systems. In: NAIR, P. K. R. **Agroforestry systems in the tropics.** London: Kluwer Academic, 1989. 338 p.

OLIVEIRA, E. B. et al. Avaliação econômica da consorciação do milho (*Zea mays* L.) com *Pinus taeda* L. no Estado do Paraná. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, PR, n. 37, p. 19-30, jul./dez. 1998.

OLIVEIRA, H. A. **Acácia-negra e tanino no Rio Grande do Sul.** Canoas, RS: La Salle, 1968. 121 p.

PARROTTA, J. A. Productivity, nutrient cycling, and succession in single- and mixed-species plantations of *Casuarina equisetifolia*, *Eucalyptus robusta*, and *Leucaena leucocephala* in Puerto Rico. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 45–77, nov. 1999.

PIOTTO, D. A meta-analysis comparing tree growth in monocultures and mixed plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam v. 255, n. 3/4, p.781-786, mar. 2008.

PENEIREIRO, F. M. **Apostila do educador agroflorestal:** introdução aos sistemas agroflorestais: um guia técnico. Rio Branco, AC: UFAC, 2002. 77 p.

PERSSON, H.; STADENBERG, I. Spatial distribution of fine-roots in boreal forests in eastern Sweden. **Plant and Soil**, The Hague, v. 318, n. 1/2, p. 1-14, May 2009.

POGGIANI, F.; MONTEIRO JUNIOR, E. S. Deposição de folheto e retorno de nutrientes ao solo numa floresta estacional semidecídua, em Piracicaba (Estado de São Paulo) In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., Campos do Jordão, SP, 1992. **Anais...**

Campos do Jordão, SP: [s.n.], 1990. p. 596-602.

QING-CHENG, W. Spatial distribution of fine roots of larch and ash in the mixed plantation stand. **Journal of Forestry Research**, Beijing, v. 13, n. 4, p. 265-268, dec. 2002.

RAICH, J. W.; NADELHOFFER, K. J. Below ground carbon allocation in forest ecosystems: global trends. **Ecology**, New York, v. 70, n. 5, p. 1346–1354, oct. 1989.

REIS, G. G. et al. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 13, n. 1, p. 1-18, jan./fev. 1989.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: _____. **Relação solo - eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1990. 330 p.

_____; _____. KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 9, n. 2, p. 149-162, jul./dez. 1985.

SCHENK, H. J. Root competition: beyond resource depletion. **Journal Ecology**, Oxford, v. 94, n. 4, p. 725-739, July 2006.

SCHMID, I. The influence of soil type and interspecific competition on the fine root system of Norway spruce and European beech. **Basic and Applied Ecology**, Jena, v. 3, n. 4, p. 339-346, oct./dec. 2002.

SCHNEIDER, P. R. **Modelo de equação e tabelas para avaliar o peso de casca de acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild.** 1978. 149 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 1978.

SCHÖNAU, A. P. G. A site evolution study in Black Wattle (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ann. Univ. von Stellenbosh**, v. 44, p. 79-214, 1969.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*, plantados em Anhembi - SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 3, n. 1, p. 21-34, jan./dez. 1993.

SCHUMACHER, M. V. et al. **Crescimento de plantas de acácia-negra em função da adubação NPK**. Santa Maria: [s.n.], 2008. 73 p. (Relatório de Pesquisa).

SHIBU, J.; RICHARD, W.; DIOMIDES, Z. Belowground ecological interactions in mixed-species forest plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p. 231-239, sept. 2006.

SILVA, E. V. **Desenvolvimento de raízes finas em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium***. 2007. 54 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2007.

SIMON, A. A. A cadeia produtiva da acácia-negra, aspectos econômicos, sociais e ambientais. In: REFLORESTAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL. Ambiente e tecnologia: o desenvolvimento sustentável em foco, 1., 2005, Lajeado, RS. **Anais...** Lajeado, RS: UNIVATES, 2005. p. 149-166.

VANDERMEER, J. **The Ecology of Intercropping**. New York: Cambridge University Press, 1989. 237 p.

VITTI, G. C. et al. **Adubação e nutrição do eucalipto**. Piracicaba, SP: ESALq, 2002. 45 p.

VOGT, A. K.; GRIER, C. C.; VOGT, J. D. Production, turnover and nutrient dynamics of above-and below-ground detritus of world forests. **Advance Ecology Research**, v. 15, p. 303-377, 1986.

VEZZANI, F. M. **Aspectos nutricionais de povoamentos puros e mistos de *Eucalyptus saligna* (Smith) e *Acacia mearnsii* (De Wild.)**. 1997. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

YONG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Nairobi: ICRAF, 1989. 276 p.

3 CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1 Localização da área experimental

O estudo foi realizado em área experimental localizada no município de Bagé na região da Campanha Meridional do estado do Rio Grande do Sul (Figura 3.1). Essa área localiza-se nas coordenadas geográficas centrais de $31^{\circ}14'43''$ de latitude Sul e $54^{\circ}04'55''$ longitude Oeste, com altitude média de 242 m em relação ao nível médio do mar (Figura 3.2).



Figura 3.1 – Localização do município de Bagé, Região da Campanha Meridional do Rio Grande do Sul.

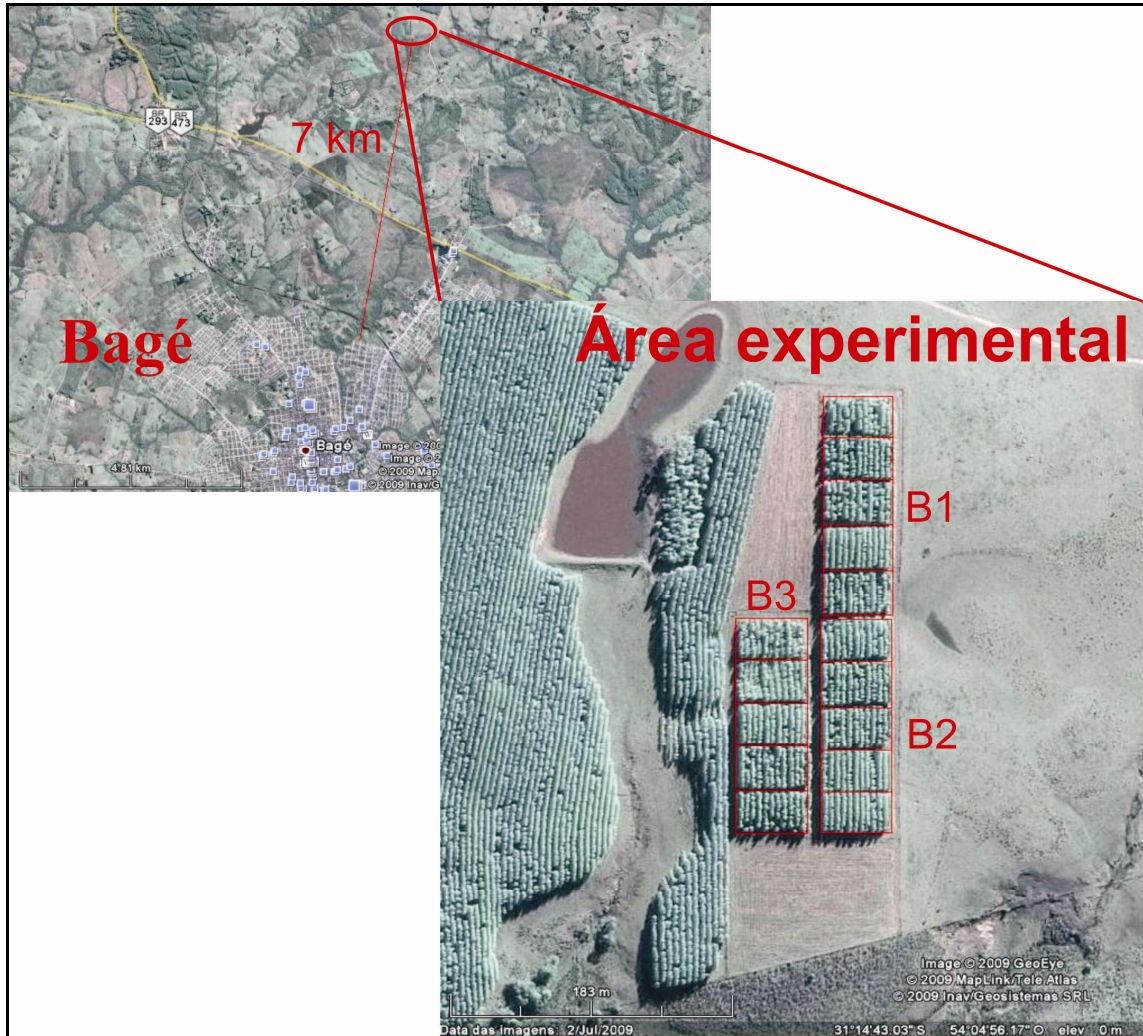


Figura 3.2 – Localização da área experimental no município de Bagé-RS. (Imagem modificada do Google Earth, 2009).

3.2 Características climáticas

Segundo a classificação climática de Köppen, o tipo de clima fundamental predominante é o Cfa (subtropical úmido), a precipitação média anual na região é de 1364 mm. A temperatura média anual é de aproximadamente 17,5 °C, sendo que a média das máximas é de 23,5 °C e a média das temperaturas mínimas é de 12,3 °C. Ocorrem em média 21 geadas por ano. A insolação média anual é de 2444 horas, com uma umidade relativa média anual de 78% (MORENO, 1961). Na Figura 3.3, pode-se observar o diagrama climático de Walter e Lieth do período de estudo, no município de Bagé-RS.

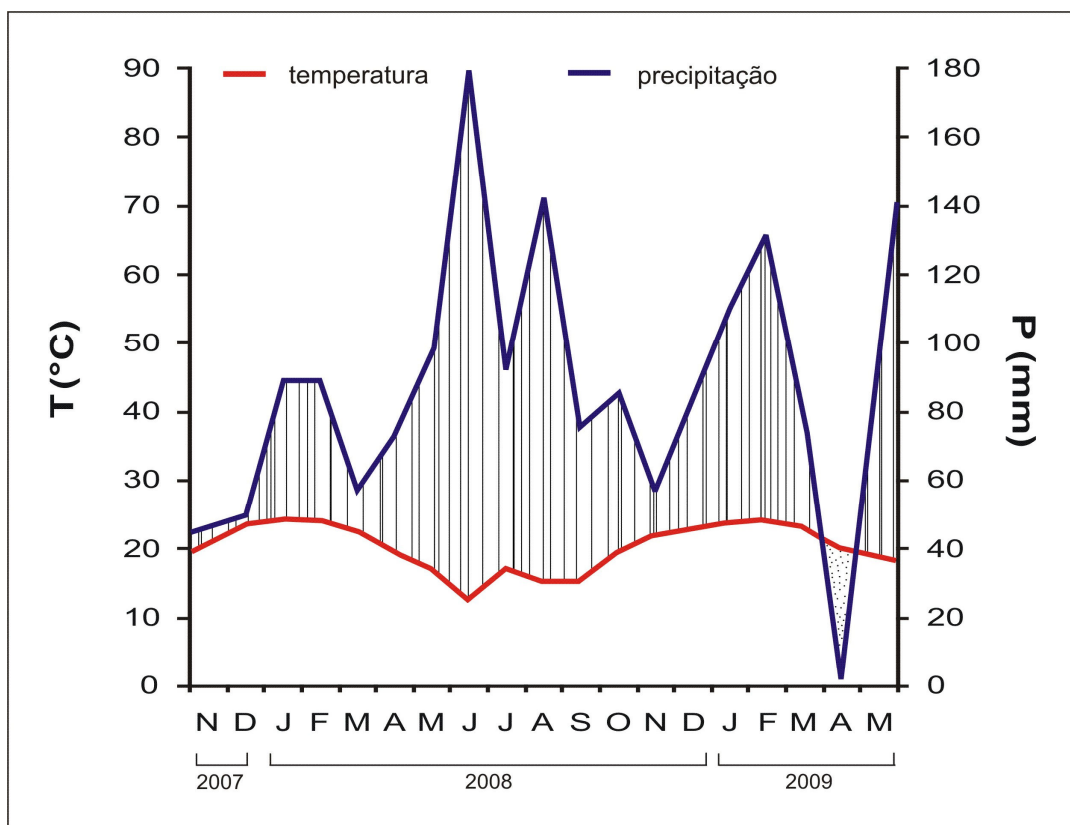


Figura 3.3 – Diagrama climático da região durante o período de estudo.

3.3 Características do solo

O solo da área experimental é um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico latossólico, Unidade de Mapeamento Santa Tecla. Devido à baixa fertilidade natural desses solos (distróficos), forte acidez e alta saturação por alumínio, eles exigem investimentos em corretivos, fertilizantes e sistemas de manejo para alcançar rendimentos satisfatórios. Dessa forma, os investimentos são maiores nesses solos arenosos, com baixo teor de argila e matéria orgânica e que possuem saturação por bases e capacidade de troca de cátions baixas, junto a elevado teor de alumínio extraível. O fato de esses solos serem mais arenosos os torna mais suscetíveis à erosão, bem como sujeitos a uma decomposição mais rápida dos resíduos culturais, razão pela qual exigem práticas de manejo e conservação de solo mais intensas (STRECK et al., 2008).

Verificam-se, na Tabela 3.1, os atributos químicos do solo nas diferentes profundidades na área experimental localizada no município de Bagé-RS. A caracterização da fertilidade do solo foi realizada através da coleta de três amostras em cada profundidade, uma

em cada bloco, antes da implantação do experimento. Foram amostrados cinco subpontos amostrais para a composição de cada amostra em cada profundidade.

Tabela 3.1 – Atributos químicos do solo na área experimental localizada no município de Bagé, Rio Grande do Sul.

Prof. (cm)	MO (%)	pH (H ₂ O)	Al	H + Al	CTC _{efetiva}	CTC _{pH 7}	P	K	Ca	Mg	m	v
			cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³		(%)	
0-5	2,0	4,8	0,9	6,5	2,8	8,4	6,7	80,3	1,0	0,7	32,5	22,4
5-10	1,8	4,8	1,0	7,8	2,9	9,6	3,6	54,6	1,0	0,7	37,6	19,4
10-20	1,4	4,7	1,3	7,8	2,7	9,3	2,0	36,6	0,8	0,6	47,6	16,4
20-30	1,1	4,7	1,5	8,5	3,0	10,0	1,2	31,0	0,8	0,6	52,8	15,0

Segundo a Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004), o teor de matéria orgânica no solo é baixo ($\leq 2,5\%$); o pH e o P são muito baixos ($\leq 5,0$; $\leq 7,0$ mg dm⁻³, respectivamente); o K é de médio a alto (40 - 120 mg dm⁻³); o Ca é baixo ($\leq 2,0$ cmol_c dm⁻³); o Mg é médio (0,6 – 1,0 cmol_c dm⁻³); a saturação por Al é alta ($> 20\%$) e a saturação por bases é baixa ($< 45\%$).

Na Tabela 3.2, podem-se observar os atributos físicos do solo em diferentes profundidades na área experimental localizada no município de Bagé-RS. O solo é caracterizado por textura Franco-Arenosa com densidade mediana.

Tabela 3.2 – Atributos físicos do solo na área experimental localizada no município de Bagé, Rio Grande do Sul.

Prof (cm)	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Densidade
	(2-0,2mm)	(0,2-0,05mm)	(0,05-0,002mm)	(<0,002mm)	g cm ⁻³
0-5	25	53	5	18	1,38
5-10	25	52	6	18	1,50
10-20	26	51	4	20	1,49
20-30	24	52	4	21	1,49

3.4 Características do relevo e da vegetação

O relevo na região é suave-ondulado, estando inserido na região dos campos sulinos que, segundo Marchiori (2006), é essencialmente campestre, composta por numerosas hemicriptófitas e caméfitas, um grupo restrito de fanerófitas, que são importantes para a fisionomia e estrutura da vegetação regional. É o caso dos gêneros *Acanthosyris* e *Jodina* (Santalaceae); de *Lithraea* e *Schinus* (Anarcadiaceae); de *Porsopis* (Leguminosae); de *Schaefferia* (Calastraceae); e de *Trithrinax* (Plantae ou Arecaceae).

O Pampa é um bioma complexo, formado por várias formações vegetacionais, dentre as quais o campo dominado por gramíneas é o mais representativo. A matriz geral é formada por áreas extensas de campos, com inclusões de florestas pelas margens de rios (RAMBO, 2005). Segundo Marchiori (2004), cerca de 1/3 do Rio Grande do Sul estava originalmente ocupado por florestas, e 2/3 por formações campestres, esta entremeada de florestas ciliares associadas a redes de drenagem, de capões de mato, de árvores isoladas e de arbustos lenhosos, compondo distintas tipologias de vegetação.

Antes da instalação da área experimental o campo era utilizado para a criação de bovinos e ovinos de forma extensiva.

3.5 Delineamento experimental

Todos os tratamentos, monoespecíficos ou mistos, com as espécies arbóreas e agrícolas encontram-se num espaçamento de 4,0 m x 1,5 m e 0,80 m x 0,20 m, respectivamente, (Figura 3.4). O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com 5 tratamentos (Tabela 3.3) e 3 repetições (blocos). O tratamento 1 (100E) e 2 (100A) são formados somente por plantas de *Eucalyptus urograndis* ou *Acacia mearnsii*, respectivamente. Já, o tratamento 3 (50E:50A) é formado por uma linha de plantio de *Eucalyptus urograndis* intercalada com uma linha de plantio de *Acacia mearnsii*, e assim sucessivamente. E por fim, nos demais tratamentos (75E:25A e 25E:75A), intercalo-se três e uma linha de plantio de *Eucalyptus urograndis* com uma e três linhas de *Acacia mearnsii*, respectivamente e sucessivamente.

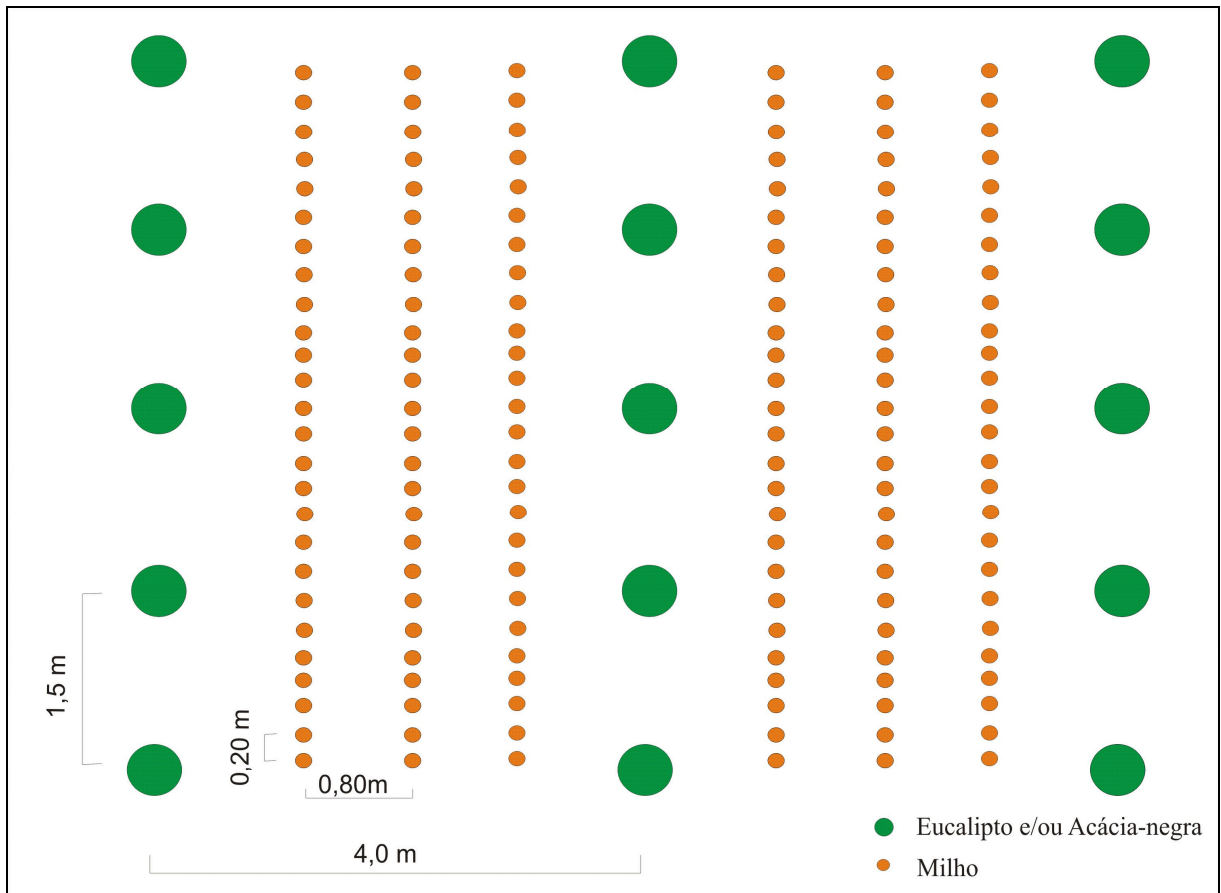


Figura 3.4 – Arranjo espacial das espécies utilizadas no experimento.

Tabela 3.3 - Tratamentos utilizados na área experimental no município de Bagé-RS.

TRATAMENTO	DESCRIÇÃO
T1	100% eucalipto + milho
T2	100% acácia-negra + milho
T3	50% eucalipto + 50% acácia-negra + milho
T4	75% eucalipto + 25% acácia-negra + milho
T5	25% eucalipto + 75% acácia-negra + milho

A área total de cada parcela é de 1.224 m² (25,5 m x 48,0 m), contendo, dessa forma 204 árvores de eucalipto e/ou acácia-negra. Foram deixados 6 metros entre tratamentos e entre blocos, para não ocorrer interferência de um tratamento sobre outro e para sua divisão. Para as avaliações e/ou mensurações, considerou-se bordadura dupla para isolar possíveis interferências externas nos dados obtidos nos tratamentos.

3.6 Instalação do experimento

Para a implantação das espécies florestais, foi realizada subsolagem, numa profundidade média de 50 cm, na linha de plantio, com subsolador de uma haste, sendo que, juntamente com essa operação, foi aplicada adubação química ao solo, na linha de plantio, com a seguinte formulação: 06:30:06 da fórmula N - P₂O₅ - K₂O + 7% de Ca + 6% de S + 0,1% de B + 0,5% de Cu, sendo aplicados 300 kg ha⁻¹ (Apêndice A). Em seguida, foram realizadas duas gradagens na linha de plantio, devido à intensa presença de gramíneas.

O plantio das mudas de eucalipto (material genético da empresa Votorantin Celulose e Papel) e acácia-negra foi realizado, manualmente, na segunda quinzena do mês de novembro de 2007. Na ocasião do plantio, como também antes dele, realizou-se o controle de formigas, com formicida granulado, sendo aplicados 6 gramas de formicida a cada 16 m².

Logo após a implantação das espécies florestais, foi realizada a semeadura da cultura agrícola (*Zea mays* L.), no dia 04 de dezembro de 2007. Tal procedimento foi realizado através de uma plantadeira hidráulica acoplada ao trator, com adição de 180 kg ha⁻¹ de sulfato de amônia. O plantio de milho foi realizado entre as linhas de eucalipto e/ou acácia-negra e foram plantadas 3 linhas de milho, em cada entrelinha de árvores, com distância de 0,80 m entre si e distanciadas 1,2 m das linhas de eucalipto e/ou acácia-negra. Foram utilizadas 5 sementes por metro linear.

Para o controle de ervas daninhas, foi realizado coroamento num raio de 50 cm no entorno das plantas florestais aos 2 meses após o plantio, além de capina química com herbicidas à base do princípio ativo glifosato no restante da linha de plantio.

3.7 Referências bibliográficas

GOOGLE EARTH. Disponível em: < <http://earth.google.com/intl/pt/> > Acesso em: 01 dez. 2009.

MARCHIORI, J. N. C. **Fitogeografia do Rio Grande do Sul**: Campos Sulinos. Porto Alegre: Ed. EST., 2006. 40 p.

_____. _____.: embasamento florístico. Porto Alegre: Ed. EST., 2004. 110 p.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

RAMBO, S. J. B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. 3. Ed. São Leopoldo, RS: UNISINOS, 2005. 473 p.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de química e fertilidade do solo. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p.

STRECK, E. V. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

4 CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES FLORESTAIS NUM PLANTIO MISTO EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi analisar a dinâmica do crescimento e interações em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* De Wild., no município de Bagé-RS, para identificar quais processos poderiam levar a um aumento da produtividade e como as interações ecológicas entre as duas espécies podem variar ao longo do tempo. Os tratamentos estudados foram os seguintes: 100E; 100A; 50E:50A; 75E:25A e 25E:75A. A primeira avaliação do crescimento foi realizada aos 6 meses de idade (aferição do diâmetro do coleto e altura total) e outra, aos 18 meses (diâmetro à altura do peito, altura total, volume com casca e índice de área foliar). O crescimento em diâmetro e a altura total do *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii*, tanto aos 6 meses de idade como aos 18 meses, não diferiram significativamente ($p > 0,05$) nos diferentes tratamentos, mostrando apenas uma tendência de aumento no tratamento 50E:50A em relação aos plantios puros (100E e 100A). A produção total de madeira ($m^3 ha^{-1}$) foi a mesma no consórcio e no monocultivo, não havendo influência significativa ($p > 0,05$) da presença de outra espécie. O consórcio das espécies florestais provocou um efeito positivo interespecífico no índice de área foliar do *Eucalyptus urograndis*.

Palavras-chave: Consórcio, interações entre espécies, crescimento inicial, IAF.

FOREST SPECIES GROWTH IN A MIXED STAND IN AN AGROFORESTRY SYSTEM

Abstract

This study had as objective to evaluate growth dynamics and interaction in monospecific and mixed stands of *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii* De Wild. in Bagé-RS, to identify processes that can lead to a productivity increase, and how ecological interactions between this two species can vary along the time. Treatments were the following: 100E; 100A; 50E:50A; 75E:25A and 25E:75A. First evaluation was done at the age of 6 months (diameter at stem and total height) and the other at the age 18 months (diameter at breast height; total height; volume with bark and leaf area index). Diameter and total height growth from *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii*, for the ages 6 and 18 months, did not differ significantly ($p > 0,05$) in different treatments, showing only an increase tendency in treatment 50E:50A in relation to pure stands (100E and 100A). Total wood production ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) was the same at agroforestry and monoculture, not having a significant influence ($p > 0,05$) to the presence of other species. Consortion of forest species cause a positive interspecific effect in leaf area index of *Eucalyptus urograndis*.

Key-words: consortion, species interaction, initial growth, LAI.

4.1 Introdução

O interplântio de espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio com eucalipto pode aumentar o crescimento dos povoamentos. Isso decorre do fato de que a espécie leguminosa provoca uma melhora nos atributos químicos do solo, por meio de uma maior disponibilização de nitrogênio no sistema, primeiramente pela morte e decomposição de raízes e conseguinte pela deposição e decomposição da serapilheira (FORRESTER et al., 2006a; VEZZANI, 1997). Além do mais, plantios consorciados podem proporcionar melhorias na estrutura do solo, aumentar o teor de matéria orgânica e promover condições ecofisiológicas favoráveis ao crescimento das árvores (GAMA-RODRIGUES, 1997; MENDONÇA et al., 2008).

Forrester et al. (2005) encontraram um predomínio de interações positivas (facilitação e redução competitiva) do que negativas (competitividade) num plantio misto de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii*, evidenciado pelo maior crescimento em altura, diâmetro, incremento em biomassa acima do solo e volume de madeira nos tratamentos com misturas das espécies. Isso demonstra o benefício de seleção de espécies capazes de fixar uma quantidade significativa de N e torná-lo prontamente disponível com a decomposição da serapilheira e das raízes finas.

Vários estudos têm demonstrado que o plantio misto de eucalipto e leguminosas arbóreas resulta num incremento na produtividade das espécies envolvidas. Isso foi verificado em *Eucalyptus globulus* com *Acacia mearnsii* (KHANNA, 1997; BAUHUS et al., 2000; FORRESTER et al., 2004; FORRESTER et al., 2005; FORRESTER et al., 2006b), *Eucalyptus saligna* com *Albizia falcataria* (BINKLEY et al., 2000); *Eucalyptus saligna* com *Falcataria molucna* (BINKLEY et al., 2003); *Eucalyptus grandis* com *Acacia mangium* (LACLAU et al., 2008); eucalipto com leguminosas arbóreas nativas (COÊLHO, 2006) e *Eucalyptus camaldulensis* com *Acacia mangium* (SCHIAVO et al., 2004).

As espécies utilizadas no plantio misto podem ser manejadas em uma série de sistemas silviculturais (FORRESTER et al., 2004), tais como: 1) a leguminosa pode ser desbastada para liberação do eucalipto e vendida como uma fonte de rendimento antecipado. À medida que os resíduos de colheita da leguminosa são decompostos, maior quantidade de N é liberado para o sítio; 2) quando o desbaste não é economicamente viável, a espécie leguminosa pode ser mantida no povoamento junto com o eucalipto, o qual se tornaria dominante. Nesse caso,

Acacia mearnsii continuaria a fixar N₂; 3) ou ambas as espécies poderiam ser desbastadas de modo que os indivíduos de eucaliptos com melhor crescimento sejam mantidos com algumas árvores de *Acacia mearnsii*.

Mas várias questões ainda necessitam ser avaliadas, como, por exemplo: não se sabe por quanto tempo *Acacia mearnsii* fixará nitrogênio nos povoamentos mistos; se as intervenções silviculturais, tais como desrama, desbaste e fertilização podem influenciar a dinâmica de fixação de nitrogênio com a idade do povoamento; e também não sabe se aumentos de produção resultarão em aumentos na produtividade total - acima e abaixo do solo (FORRESTER et al., 2005), além de ser difícil prever a combinação de espécies e sítios que poderiam apresentar benefícios (FORRESTER et al., 2006c).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi analisar a dinâmica do crescimento e as interações em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* De Wild., no município de Bagé-RS.

4.2 Material e métodos

4.2.1 Avaliação dendrométrica

Aos 6 e 18 meses de idade das espécies florestais, realizou-se a avaliação de crescimento em diâmetro do coleto (aos 6 meses de idade), diâmetro à altura do peito (aos 18 meses) e altura total (aos 6 e 18 meses). As aferições de diâmetro foram realizadas com auxílio de paquímetro (diâmetro do coleto) e fita diamétrica (diâmetro à altura do peito). A altura total foi determinada com régua dendrométrica (aos seis meses) e hipsômetro vertex (aos 18 meses).

4.2.2 Determinação do volume com casca

A partir do diâmetro médio à altura do peito de cada repetição dos tratamentos 100E, 100A e 50E:50A, aos 18 meses de idade do povoamento, escolheu-se a árvore média a ser abatida para a determinação do volume com casca. O volume com casca foi determinado através da cubagem rigorosa, segundo o método desenvolvido por SMALIAN e descrito por Soares et al. (2006), seguindo a expressão:

$$V = \left(\frac{AS_1 + AS_2}{2} \right) \cdot L$$

Em que:

V = volume com casca;

AS₁ e AS₂ = áreas seccionais com casca, obtidas nas extremidades da seção, em m²;

L = comprimento de cada seção, em m.

As áreas seccionais com casca foram obtidas à 0,10; 0,30; 1,30 m de altura do tronco em relação ao nível do solo e, em seguida, de metro em metro, até atingir a extremidade superior do tronco de cada árvore.

4.2.3 Determinação do índice de área foliar

Na determinação do Índice de Área Foliar (IAF), utilizaram-se os mesmos indivíduos nos quais se realizou a cubagem (total de 10 árvores). Para a obtenção da área foliar, foi necessária a amostragem de folhas de toda a parte aérea da planta (aproximadamente 40 g de massa úmida), para que dessa forma obtivéssemos uma amostragem representativa. Efetuou-se esse procedimento de amostragem para cada árvore média abatida. Posteriormente, cada uma delas foi levada ao laboratório de Ecologia Florestal, onde foram tiradas fotos digitais, depois de terem sido prensadas entre uma superfície de cor branca e um vidro transparente. Após a obtenção das fotos digitais com auxílio de câmera digital (Kodak C713, 7.0 Megapixels), apoiada em uma estrutura metálica com altura fixa de 0,5 m, as imagens foram processadas com o auxílio do *software* UTHSCSA, Image Tool for Windows version 3.00[©] (2002), que determina a área das folhas.

Dessa forma, com base na biomassa úmida das amostras, extrapolou-se a área foliar para biomassa total de folhas, determinada em $\text{m}^2 \text{ árvore}^{-1}$. Efetuando a divisão dessa área foliar pela área de superfície correspondente, obtém-se o Índice de Área Foliar (IAF). O procedimento de estimativa pode ser verificado através da seguinte expressão:

$$\text{IAF} = \left(\frac{S_{\text{amostra}} \cdot B_{\text{total}}}{B_{\text{amostra}}} \right) / \text{Espaçamento}$$

Em que:

IAF = Índice de Área Foliar;

S_{amostra} = Área da biomassa de folhas amostradas;

B_{amostra} = Biomassa de folhas amostradas da árvore;

B_{total} = Biomassa total de folhas da árvore;

Espaçamento = Área útil da árvore (6 m^2).

4.2.4 Análise estatística

Aplicou-se o teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e de normalidade dos erros de Lilliefors nos resultados para a verificação de sua validação pelos pressupostos da análise de variância. Resultados que não atenderam aos pressupostos foram transformados aplicando a raiz quadrada e, em seguida, analisados. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.5 beta (SILVA, 2008), ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para a separação dos contrastes de médias, utilizou-se o teste de Tukey (ZIMMERMANN, 2004).

4.3 Resultados e discussão

4.3.1 Crescimento em diâmetro

O crescimento em diâmetro do *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii*, tanto aos

6 meses de idade como aos 18 meses, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) nos diferentes tratamentos, mostrando apenas uma tendência de aumento em diâmetro à altura do peito no tratamento 50E:50A em relação aos plantios puros (100E e 100A) (Figura 4.1). Realizando comparação entre as espécies, o *Eucalyptus urograndis* apresentou maior diâmetro de coleta ($p < 0,05$) em relação à *Acacia mearnsii*, em todos os tratamentos, fato não ocorrido aos 18 meses de idade, quando o diâmetro à altura do peito foi estatisticamente igual ($p > 0,05$).

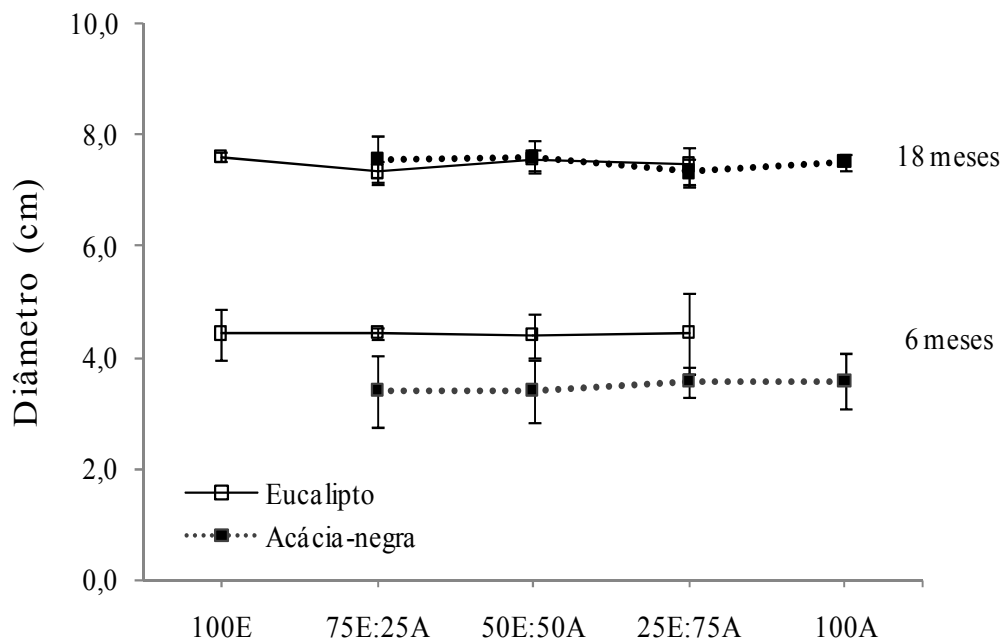


Figura 4.1- Crescimento em diâmetro do coleto (6 meses de idade) e diâmetro à altura do peito (18 meses) em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*. As barras verticais correspondem ao desvio padrão da média.

Dessa forma, não se verificaram interações positivas ou negativas interespecíficas ou intraespecíficas que favorecessem o crescimento em diâmetro do coleto (6 meses de idade) e diâmetro à altura do peito (18 meses) em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*. Fenômeno idêntico a este observado por Kleinpaul (2008), com as mesmas espécies deste estudo, em que o crescimento em diâmetro de colo das árvores aos 10 meses de idade não foi influenciado pela presença ou ausência de outra espécie florestal em consórcio.

Silva (2007), avaliando plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, com 29 meses de idade, verificou que o *Eucalyptus grandis* no plantio misto não apresentou diminuição ou aumento no crescimento em área basal em relação ao seu

monocultivo. Já Forrester et al. (2004) observaram que o crescimento inicial (primeiros anos de idade) da acácia-negra em plantios mistos é maior do que o do eucalipto. Eles observaram que os diâmetros de *Eucalyptus globulus* foram significativamente maiores em consórcios do que em monoculturas aos 4 anos de idade, e essas diferenças aumentaram com o tempo até os 11 anos de idade.

Com base na Figura 4.2, pode-se verificar que os plantios monoespecíficos contêm uma grande variação de diâmetros, enquanto os consórcios possuem uma maior proporção de árvores em classes de diâmetro superiores. Para efeito comparativo, neste estudo, definiu-se como árvore de diâmetro grande aquela que tinha diâmetro à altura do peito superior à média mais um desvio-padrão. Para o *Eucalyptus urograndis*, o diâmetro é superior a 8,4 cm e para a *Acacia mearnsii* superior a 8,7 cm, aos 18 meses de idade.

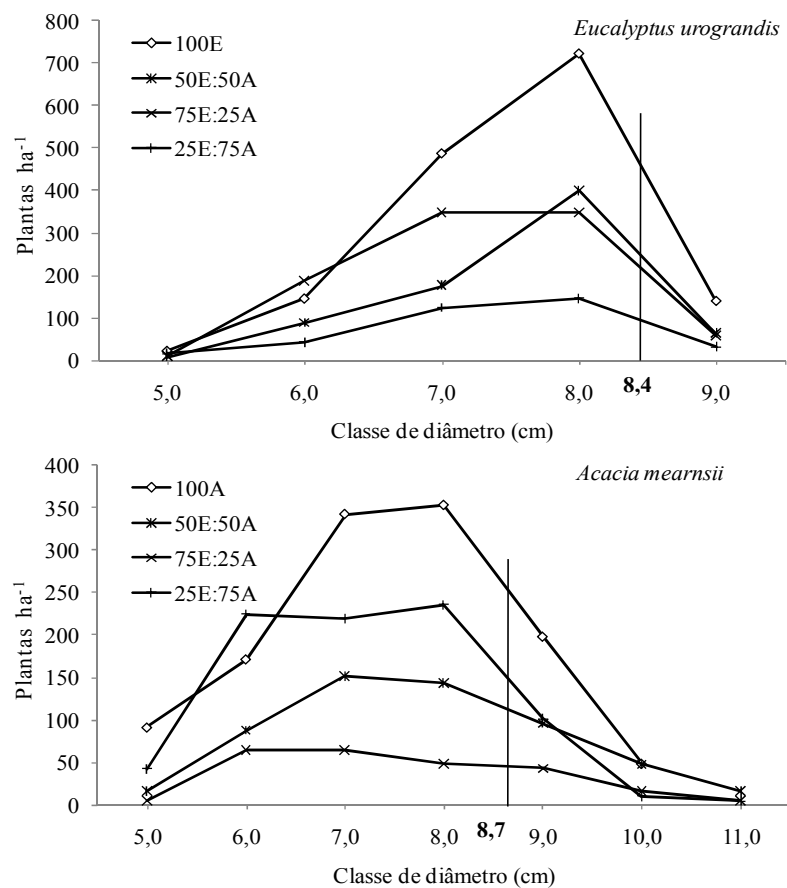


Figura 4.2- Distribuição diamétrica das árvores em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* aos 18 meses de idade.

Para o *Eucalyptus urograndis* e principalmente para a *Acacia mearnsii*, há diminuição

da diferença entre o número de árvores por hectare com diâmetro grande na proporção que aumenta a porcentagem de presença da outra espécie. Forrester et al. (2004) observaram que para a *Acacia mearnsii* ocorreu aumento significativo no número de árvores de diâmetro grande como o aumento da proporção de *Eucalyptus globulus*, já para o *Eucalyptus globulus* não houve um aumento significativo no número de árvores com diâmetro grande.

4.3.2 Crescimento em altura

O crescimento em altura do *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii*, tanto aos 6 meses de idade como aos 18 meses, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) nos diferentes tratamentos, mostrando apenas uma tendência de aumento da altura no tratamento 50E:50A em relação aos plantios puros (100E e 100A), aos 18 meses de idade (Figura 4.3), como diagnosticado para o crescimento em diâmetro. O mesmo foi verificado por Kleinpaul (2008), com as espécies iguais as deste estudo, em que o crescimento em altura total das árvores aos 10 meses de idade não foi influenciado pela presença ou ausência de outra espécie florestal em consórcio.

Vezzani et al. (2001) também não encontraram diferença significativa no crescimento em diâmetro e altura de *Eucalyptus saligna* e *Acacia mearnsii* entre os sistemas de cultivo, aos 45 meses de idade. O mesmo autor salienta que, embora o eucalipto consorciado tenha sido favorecido pelo maior suprimento de nitrogênio da acácia, essa maior disponibilidade não acarretou maior crescimento das plantas. Silva (2007), avaliando plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, com 29 meses de idade, também não verificou influência significativa do consórcio no crescimento em altura.

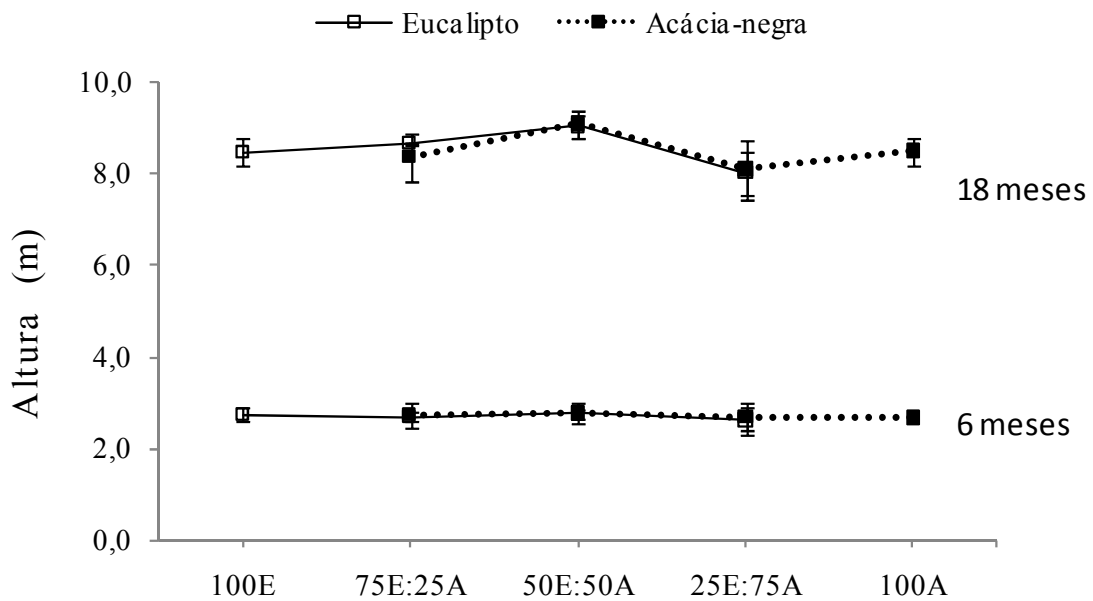


Figura 4.3- Crescimento em altura total (m) em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*. As barras verticais correspondem ao desvio padrão da média.

Entretanto, Coêlho (2006) verificou que o crescimento em altura do *Eucalyptus grandis* nos diferentes tratamentos consorciados com leguminosas arbóreas diferiu estatisticamente apenas aos 24 meses de idade. O eucalipto consorciado com a *Mimosa Scabrella* cresceu menos; já as demais espécies leguminosas (*Acacia mangium*, *Inga* sp., *Peltophorum dubium*, *Acacia polyphylla* e *Mimosa caesalpiniaefolia*) não interferiram no crescimento do eucalipto. Forrester et al. (2004) também puderam constatar a influência dos consórcios apenas a partir do segundo ano de idade do plantio, quando tanto a altura do *Eucalyptus globulus* como a da *Acacia mearnsii* aumentaram com a presença da outra espécie.

4.3.3 Volume de madeira com casca e índice de área foliar

O volume total de madeira com casca produzido nos consórcios não diferiu ($p > 0,05$) do produzido nos plantios monoespecíficos (Tabela 4.1). O mesmo foi verificado por Vezzani et al. (2001) com *Eucalyptus saligna* e *Acacia mearnsii*.

Tabela 4.1 - Volume de madeira com casca ($m^3 ha^{-1}$) e IAF (Índice de Área Foliar) em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* com 18 meses de idade.

Trat.	Volume ($m^3 ha^{-1}$)	Desvpad ¹	IAF	Desvpad
100E	34,3a ²	0,4	3,6b	0,4
50E:50A (E) ³	32,0a	5,7	5,9a	1,0
50E:50A (A) ³	33,9a	2,1	4,5b	0,7
100A	34,5a	8,7	4,0b	0,6

¹ Desvpad = desvio padrão; ² Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; ³ Para efeito de comparação, na estimativa do volume no tratamento misto, foi convencionado que cada espécie ocupasse a área total.

Quanto ao índice de área foliar (Tabela 4.1), pôde-se verificar um aumento significativo ($p < 0,05$) para o *Eucalyptus urograndis* no consórcio com a *Acacia mearnsii*, indicando o efeito positivo interespecífico. Hunt et al. (2006) observaram que, durante o desenvolvimento inicial (2 a 4 anos), a *Acacia dealbata* e o *Eucalyptus nitens* apresentaram índice de área foliar similar. No entanto, aos 8 anos de idade, a acácia estava totalmente dominada contribuindo com apenas 20% do IAF do povoamento.

Segundo Viera (2007), quanto maior o índice de área foliar de um povoamento, maior é a área fotossinteticamente ativa, conseqüentemente, haverá uma alta taxa de acumulação de fotoassimilados pelas plantas, aumentando, dessa maneira, a sua biomassa total. Neste estudo, ao avaliar dois povoamentos monoespecíficos de *Eucalyptus urograndis*, com 18 meses de idade, o autor encontrou índices de área foliar de 3,7 e 4,6. Já, Xavier et al. (2002), estudando a variação do índice de área foliar em clones de eucaliptos, ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, encontraram valores variando entre 1,7 e 4,3.

Segundo Fontan (2007) e Cacau (2008), quanto maior o índice de área foliar de uma determinada espécie, menor será a incidência de radiação fotossinteticamente ativa no interior do povoamento. Dessa maneira, se for levada em consideração a utilização de plantios mistos para a prática de agrossilvicultura, o aumento da área foliar seria prejudicial para o desenvolvimento das culturas agrícolas consorciadas.

A inexistência de diferenças significativas no crescimento (com exceção do índice de área foliar) e na produtividade dos plantios mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* deve-se, em grande parte, à juvenildade das árvores, que possuíam apenas 18 meses de idade. Khanna (1997) e Forrester et al. (2004), avaliando plantios mistos de *Eucalyptus*

grandis e *Acacia mearnsii*, verificaram a existência de diferenças significativas no crescimento apenas aos 33 e 24 meses de idade dos povoamentos, respectivamente.

De acordo com Khanna (1997) e Vezzani et al. (2001), na fase inicial de desenvolvimento dos povoamentos (até a formação da copa), o benefício do consórcio para o eucalipto ocorreria pelo aumento na disponibilidade de nitrogênio no solo, essencialmente pela decomposição de raízes finas e nódulos. Após a formação da copa, a leguminosa aumentaria a taxa de ciclagem de nutrientes, devido à redução da relação C:N no material depositado sobre o solo, estimulando a ação de micro-organismos decompositores e a consequente liberação de nutrientes.

4.4 Conclusões

Com base na avaliação do crescimento das espécies florestais em plantio misto e em monocultivo até os 18 meses de idade, pode-se inferir que:

- o crescimento em diâmetro e altura total do *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii*, tanto aos 6 meses de idade como aos 18 meses, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) nos diferentes tratamentos, mostrando apenas uma tendência de aumento no tratamento 50E:50A em relação aos plantios puros (100E e 100A);
- os plantios mistos apresentaram maior porcentagem de árvores nas classes diamétricas superiores em relação aos monocultivos;
- a produção total de madeira ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) foi a mesma no consórcio e no monocultivo, não havendo influência significativa ($p > 0,05$) da presença de outra espécie;
- o consórcio das espécies florestais provocou um efeito positivo interespecífico no índice de área foliar do *Eucalyptus urograndis*.

4.5 Referências bibliográficas

BAUHUS, J.; KHANNA, P. K.; MENDEN, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Canadian Journal Forestry Research**, Montreal, v. 30, n. 12, p. 1886-1894, dec. 2000.

BINKLEY, D. et al. Twenty years of stand development in pure and mixed stands of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Facaltaria moluccana*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 182, n.1-3, p. 93-102, sept. 2003.

_____; GARDINA, C.; BASHKIN, M. A. Soil phosphorus pools and supply under the influence of *Eucalyptus saligna* and nitrogen-fixing *Albizia falcataria*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 241–247, apr. 2000.

CACAU, F. V. **Decepa de plantas jovens de eucalipto em um sistema agroflorestal: dinâmica de copa e crescimento**. 2008. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

COÊLHO, S. R. F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas nativas**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2006.

FORRESTER, D. I. et al. Effects of changing the supply of nitrogen and phosphorus on growth and interactions between *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* in a pot trial. **Plant and Soil**, The Hague, v. 280, n. 1/2, p. 267–277, feb. 2006a.

_____ et al. Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixing trees: A review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p. 211-230, sept. 2006c.

_____; BAUHUS, J.; COWIE, A.L. Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p. 275-284, sept. 2006b.

_____; _____. On the success and failure of mixed species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 209, n. 1/2, p. 147-155, apr. 2005.

_____; _____. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1/2, p. 81–95, may 2004.

FONTAN, I. C. I. **Dinâmica de copa e crescimento de clones de eucalipto submetidos a desrama em sistema agroflorestal**. 2007. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

GAMA-RODRIGUES, A. C. **Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamentos puros e mistos, em solos tabuleiros da Bahia, Brasil.** 1997. 107 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

HUNT, M. A. et al. Competição entre plantios de *Eucalyptus nitens* e a invasora *Acacia dealbata* no nordeste da Tasmânia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2/3, p. 260-274, sept. 2006.

KHANNA, P. K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 94, n. 1-3, p. 105–113, june 1997.

KLEINPAUL, I. S. **Plantio misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agroflorestal.** 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

LACLAU, J. P. et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil 1. Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 3905–3917, june 2008.

MENDONÇA, A. V. R. et al. Desempenho de quatro espécies de *Eucalyptus* spp em plantios puros e consorciados com sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) em cava de extração de argila. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 3, p. 395-405, maio/jun. 2008.

SCHIAVO, J. A. et al. Comportamento de *Acacia mangium* Willd e *Eucalyptus camaldulensis*, em plantio puro e consorciado, em áreas degradadas pela extração de argila no Município de Campos dos Goytacazes. FERTIBIO 2004. Lages, SC: 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, E. V. **Desenvolvimento de raízes finas em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*.** 2007, 54 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”/Universidade São Paulo, Piracicaba, SP, 2007.

SILVA, F. de A. S. **ASSISTAT versão 7.5 beta.** Campina Grande, PB: DEAG: CTRN: Universidade Federal de Campina Grande Campus de Campina Grande-PB, 2008.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. **Dendrometria e Inventário Florestal.** Viçosa: UFV. 2006. 276 p.

UTHSCSA. Image Tool for Windows version 3.00. University of Texas Health Science Center in San Antonio, 2002.

VEZZANI, F. M. **Aspectos nutricionais de povoamentos puros e mistos de *Eucalyptus saligna* (Smith) e *Acacia mearnsii* (De Wild.)**. 1997. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia-negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 225-231, jan./mar. 2001.

VIERA, M. **Avaliação da biomassa e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. e *Eucalyptus urograndis* no município de Pinheiro Machado, RS**. Relatório de estágio supervisionado em Engenharia Florestal, UFSM. 2007. 53 p.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação no índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 421-427, jul./ago. 2002.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402 p.

5 BIOMASSA E NUTRIENTES NOS COMPONENTES DE SISTEMAS AGROSSILVICULTURAIS

Resumo

O presente estudo teve por objetivo avaliar a produtividade agrícola e a produção de biomassa e alocação de nutrientes das diferentes espécies envolvidas em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em consórcio com *Zea mays* no Sul do Rio Grande do Sul. Para a determinação de biomassa das espécies florestais aos 6 e 18 meses de idade e dos nutrientes aos 6 meses, escolheram-se os tratamentos: 100E; 100A e 50E:50A. Já a avaliação da biomassa e dos nutrientes acima do solo para o milho foi realizada em todos os tratamentos (100E; 100A; 50E:50A; 75E:25A e 25E:75A). A alocação de biomassa total acima do solo pelo *Eucalyptus urograndis* e pela *Acacia mearnsii*, tanto em monocultivo como em plantio misto, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) em todas as idades avaliadas, mas quando avaliada por compartimentos, verificou-se interação competitiva interespecífica do eucalipto sobre a acácia-negra, ocasionando a redução da formação de biomassa de copa. A produção total de biomassa do milho (*Zea mays*) consorciado com plantios monoespecíficos e mistos das espécies florestais não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos testados. Devido à grande exportação de nutrientes pela colheita do milho, deve-se, mesmo com a manutenção da palhada nos sistemas agrossilviculturais, fazer reposição nutricional principalmente de P e N em cultivos seguintes, em decorrência da grande quantidade que é exportada pelos grãos, a qual chega a 68,1 e 51,7%, respectivamente, em relação ao total acumulado na biomassa.

Palavras-chave: Compartimentação da biomassa, colheita agrícola, exportação de nutrientes.

BIOMASS AND NUTRIENTS IN AGROFORESTRY COMPONENTS

Abstract

This study had as objective to evaluate crop productivity and biomass and also nutrients allocation in all the species involved in monospecific and mixed stands of *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii* and consortiated with *Zea mays* in south Rio Grande do Sul. For forest species biomass determination at 6 and 18 months and the nutrients at 6 months, the treatments 100E; 100A and 50E:50A were chosen. However above ground biomass and nutrients evaluation for maize were done in all treatments (100E; 100A, 50E:50A; 75E:25A and 25E:75A). Total above ground biomass allocation for *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii*, in monoculture or mixed stand, did not differ significantly ($p > 0.05$) in all evaluated species, but when it was compartmentalized evaluated, a competitive interspecific interaction was verified from eucalyptus upon black-wattle, causing a reduction on crown biomass formation. Total maize (*Zea mays*) production, consortiated with monospecific and mixed forest stands, did not differ significantly ($p > 0.05$) among the tested treatments. Due to the great nutrients export through maize harvest, even if the straw is maintained, it is necessary to make a nutritional reposition, mainly with P and N in the following cultivates, because of the higher amount that are exported with the grains, that reaches 68,1 and 51,7%, respectively, in relation to total accumulated in biomass.

Key-words: biomass compartmentalization, crop harvesting, nutrients export.

5.1 Introdução

A quantificação da biomassa e de nutrientes em qualquer forma de sistemas de cultivo é de fundamental importância para que se conheça a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do sistema, podendo-se, assim, encontrar indicadores de possíveis impactos que algumas técnicas agrossilviculturais podem causar. Com isso, o estudo da exportação de nutrientes através da colheita da biomassa agrícola-florestal é a base para o entendimento da dinâmica nutricional em sistemas agrossilviculturais e, no caso de sistemas novos, é vital para a produção contínua e sustentada, possibilitando a previsão de situações que poderiam ser críticas a médio e longo prazo, tanto em relação à produtividade como em relação às características químicas do solo.

Para Ferreira et al. (2004) e Cobb et al. (2008), a remoção de nutrientes pela colheita seria um dos fatores a ser considerado, devido à preocupação com a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em condições de baixo suprimento pelo solo de elementos essenciais às espécies. Assim, explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pelo exaurimento do solo. Portanto, estimar a remoção de macro e micronutrientes através dos diferentes componentes das espécies é importante para a compreensão de um manejo conveniente (LA TORRACA et al., 1984; GOLLEY, 1975; SCHUMACHER, 1992).

A produção e a alocação de biomassa em plantações florestais, principalmente de eucalipto, têm sido muito estudadas ao longo dos anos. Contudo, em sistemas mais complexos, como o sistema agrossilvicultural, estudos dessa natureza praticamente não existem. A avaliação da produção e alocação de biomassa em cada componente nesses sistemas é mais difícil, devido às interações que ocorrem durante todo o ciclo de produção e ao maior número de componentes envolvidos. Porém, é indispensável para as atividades de manejo sustentável e de agrossilvicultura de precisão, sobretudo sob a ótica do planejamento para o melhor aproveitamento dos recursos, para o seu uso sustentável (COUTO et al., 2004).

Dessa forma, o estudo sobre esses sistemas agrossilviculturais, de tão grande valor econômico, principalmente no que diz respeito às práticas agrícolas e silviculturais aplicadas nesses cultivos, é de extrema importância. Para áreas com baixo potencial produtivo, como é o caso da região Sul do estado do Rio Grande do Sul (Campanha Gaúcha), onde há poucos

estudos sobre o desenvolvimento das espécies utilizadas em consórcios, é de suma importância que se tenha o conhecimento técnico-científico em relação às características nutricionais do sistema solo-planta, para aumentar a produtividade desses sistemas e mantê-las para ciclos futuros.

Alguns estudos têm demonstrado a importância dos cultivos consorciados de espécies florestais com milho, como o realizado por Marques (1990), em consórcio com paricá (*Schizolobium amazonicum*), tatajuba (*Bagassa guianensis*) e eucalipto (*Eucalyptus guinensis*), no Pará, onde a produção de milho, no consórcio com paricá, eucalipto e tatajuba, respectivamente, no primeiro ano de plantio, foi de 1,09; 1,08 e 1,05 Mg ha⁻¹. Conforme esse autor, a produção de milho, que correspondente à média dos três anos de cultivo, foi altamente expressiva, embora no terceiro ano tenha sido menor, em consequência da área ocupada e da provável competição, promovida tanto pelo sistema radicular quanto pelas copas das espécies florestais.

Já Moniz (1987), consorciando eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. Muell) com milho (*Zea Mays*) na entrelinha, no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, encontrou uma produção de grãos de 1,95 Mg ha⁻¹ para eucalipto + uma fileira de milho; 2,5 Mg ha⁻¹ para eucalipto + duas fileiras de milho, 2,6 Mg ha⁻¹ para eucalipto + três fileiras de milho e 3,2 Mg ha⁻¹ para eucalipto + quatro fileiras de milho. O autor verificou que quanto mais aumentava o número de fileiras de milho entre as filas de eucalipto, mais diminuía a produção de milho em gramas por planta, tendo o milho em monocultivo apresentado resultado inferior a todos os tratamentos em que houve consorciação da cultura agrícola com a florestal.

Em um consórcio de *Gliricidia sepium* (leguminosa arbórea) com milho, no Agreste Paraibano, Marin et al. (2006) avaliaram a produtividade do milho, levando em consideração a distância das árvores, encontrando maior produção de grãos (0,48 Mg ha⁻¹) na fileira a 1m de distância, seguida pela fileira a 3 m (0,40 Mg ha⁻¹) e a 2 m (0,34 Mg ha⁻¹). Segundo os autores, a fileira mais próxima das árvores poderia ter usufruído a adubação das mesmas, aumentando assim sua produtividade.

No entanto, ainda pouco se sabe sobre as melhores combinações de plantios mistos e sobre o potencial desses sistemas para a produção agrícola. Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo avaliar a produtividade agrícola e a produção de biomassa e alocação de nutrientes das diferentes espécies envolvidas em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em consórcio com *Zea mays* no Sul do Rio Grande do Sul.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Amostragem da biomassa florestal

A biomassa acima do solo das espécies florestais foi determinada apenas nos tratamentos 100E, 100A e 50E:50A aos 6 e 18 meses de idade dos plantios. A biomassa florestal foi determinada tendo como referência a árvore média de cada parcela baseada no diâmetro à altura do peito (DAP).

Uma vez identificada a árvore de diâmetro médio, ela foi abatida e separada nas seguintes frações formadoras da biomassa: madeira, casca, galhos e folhas (Apêndice B). Para cada fração foi quantificada a massa úmida em balança digital de precisão (1 g) com posterior amostragem.

Em relação à madeira e à casca, a amostragem procedeu-se da seguinte maneira: distribuíram-se 3 pontos de amostragem no percorrer do comprimento total do fuste (A1, A2 e A3), nas posições medianas das secções resultantes da divisão em 3 partes iguais do mesmo (Figura 5.1). Para as frações galhos e folhas, amostrou-se de forma aleatória todo o componente.

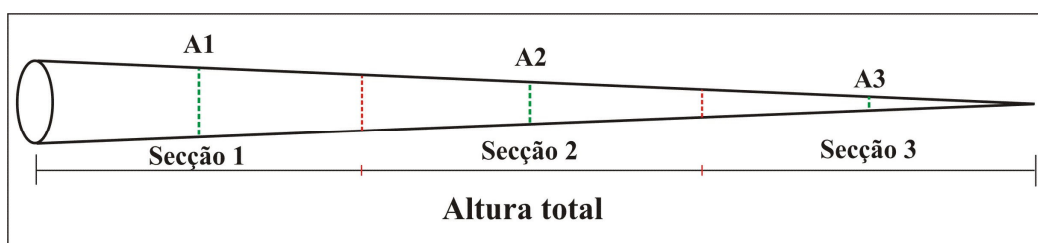


Figura 5.1 – Aspecto da amostragem das frações madeira e casca em árvores de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*.

Após a amostragem de cada componente, o que correspondia a 50g de massa úmida de cada, estes eram colocados em embalagens plásticas, devidamente identificadas e posteriormente levadas ao laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram postas para secagem em

estufa de circulação e renovação de ar à 70 °C até atingir peso seco constante, sendo então determinada a massa seca (e conseqüente teor de umidade) em balança digital de precisão (0,01g).

5.2.2 Amostragem da biomassa do milho

A biomassa de milho foi quantificada no final do ciclo, safra 2007/2008, na primeira quinzena de maio de 2007. No interior de todos os tratamentos, alocou-se uma subparcela, com 3,0 m de comprimento por três fileiras de milho como largura (Figura 5.2). Na amostragem, fracionaram-se as plantas de milho em colmo, folha, grãos, sabugo e palha (Apêndice C).

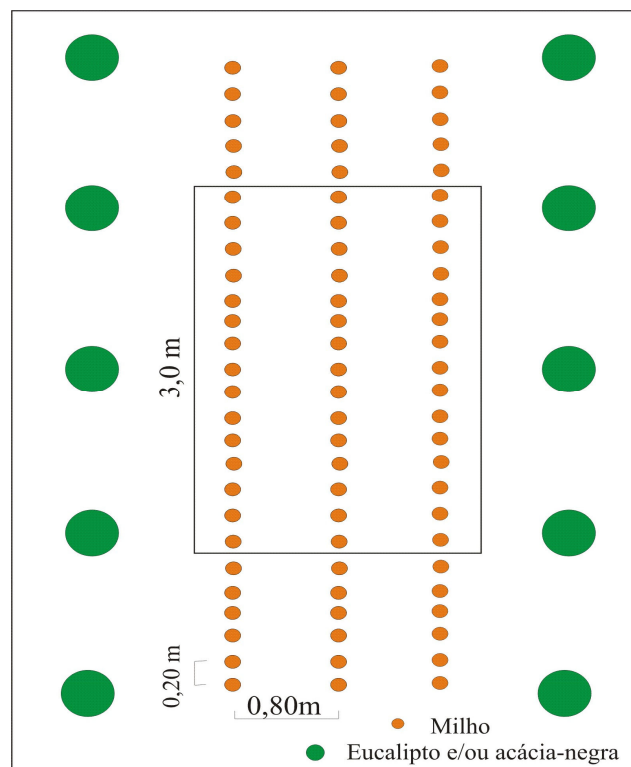


Figura 5.2 – Aspecto da amostragem da biomassa de milho no sistema agrossilvicultural.

Após a amostragem de cada componente, o que correspondia a 50g de massa úmida de cada, os mesmos eram colocados em embalagens plásticas, devidamente identificadas e

posteriormente levado ao laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Onde foram postas para secagem em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C até atingir peso seco constante, sendo então determinado a massa seca (consequente teor de umidade) em balança digital de precisão (0,01g).

5.2.3 Determinação dos nutrientes contidos na biomassa

Depois da pesagem, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Wiley, com peneira de 30 *mesh*. Nelas foram determinados os teores de nitrogênio (N) pelo método Kjeldahl; fósforo (P) e boro (B) por espectrometria visível; potássio (K) por fotometria de chama; enxofre (S) por turbidimetria; e cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) por espectrofotometria de absorção atômica; seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

5.2.4 Análise estatística

Com base na biomassa seca de cada fração (teor de umidade), no número de plantas por tratamento para as espécies florestais e na área de amostragem para o milho, estimou-se a biomassa por hectare para as diferentes culturas avaliadas. Já estimativa do estoque de nutrientes foi efetuada por meio do produto do teor médio de nutrientes pela biomassa seca.

Aplicou-se o teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e de normalidade dos erros de Lilliefors nos resultados, para a verificação de sua validação pelos pressupostos da análise de variância. Resultados que não atenderam aos pressupostos foram transformados aplicando a raiz quadrada e/ou a inversa da raiz quadrada. Posteriormente, prosseguiu-se a análise. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.5 beta (SILVA, 2008), ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para a separação dos contrastes de médias utilizou-se o teste de Tukey (ZIMMERMANN, 2004).

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Biomassa

A biomassa acima do solo de *Eucalyptus urograndis* e de *Acacia mearnsii* aos 6 e 18 meses de idade nos tratamentos 100E, 100A e 50E:50A podem ser visualizadas na Tabela 5.1. Já a biomassa de *Zea mays*, em todos os tratamentos analisados neste estudo, pode ser observada na Tabela 5.2.

5.3.1.1 Biomassa das espécies florestais

A alocação de biomassa total acima do solo pelo *Eucalyptus urograndis* e pela *Acacia mearnsii*, tanto em monocultivo como em plantio misto, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) em todas as idades avaliadas (Tabela 5.1). Mas, quando levada em consideração a compartimentação da biomassa, verificou-se a atenuação significativa ($p < 0,05$) na produção de biomassa de copa (folhas e galhos) da *Acacia mearnsii*, quando em consórcio com *Eucalyptus urograndis*, aos 18 meses de idade, em relação ao seu cultivo monoespecífico. O mesmo não ocorreu para o eucalipto. Dessa forma, pode-se observar a interação competitiva interespecífica do eucalipto sobre a acácia-negra, ocasionando a redução da formação de biomassa de copa.

Isso pode estar atrelado à diminuição da disponibilidade de luz ocasionada por maior ocupação do espaço pela copa do *Eucalyptus urograndis* em relação à da acácia-negra, provocando o início de uma possível estratificação do dossel. Laclau et al. (2008), para plantio misto de *Eucalyptus grandis* com *Acacia mangium* em São Paulo, aos 18 meses de idade, encontraram 70 e 40% a mais de biomassa de folhas de *Acacia mangium* em plantio homogêneo em relação ao plantio misto (50A:100E) e monocultivo de *Eucalyptus grandis* (100E), respectivamente, desde o início da competição por luz com eucalipto, aos 12 meses de idade. Em relação à biomassa total, os autores citados anteriormente, encontraram 10% a mais para a combinação mista de 50A:100E do que para monocultivo de eucalipto.

Tabela 5.1 – Biomassa de plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* aos 6 e 18 meses de idade.

Trat.	Idade (meses)	Biomassa (kg ha ⁻¹)				
		Folhas	Galhos	Casca	Madeira	Total
100E	6	810,2 ^(38,3) A*	553,4 ^(26,2) AB	162,8 ^(7,7) A	589,9 ^(27,9) A	2.116,3 ^(100,0) A
	18	3.690,3 ^(15,2) b	6.076,9 ^(25,0) ab	2.534,4 ^(10,4) a	11.997,4 ^(49,4) a	24.299,0 ^(100,0) a
100A	6	602,1 ^(37,7) A	235,4 ^(14,7) B	150,2 ^(9,4) A	608,6 ^(38,1) A	1.596,3 ^(100,0) A
	18	5.978,0 ^(21,1) a	5.369,5 ^(19,0) b	3.163,1 ^(11,2) a	13.797,8 ^(48,7) a	28.308,4 ^(100,0) a
50E:50A (E) ^{/1}	6	988,6 ^(36,4) A	748,3 ^(26,9) A	227,4 ^(8,3) A	802,5 ^(28,3) A	2.783,1 ^(100,0) A
	18	4.706,9 ^(18,7) ab	7.102,5 ^(28,2) a	1.930,5 ^(7,7) a	11.432,3 ^(45,4) a	25.172,2 ^(100,0) a
50E:50A (A) ^{/1}	6	814,0 ^(36,5) A	525,5 ^(22,8) AB	205,9 ^(9,2) A	737,4 ^(31,5) A	2.373,9 ^(100,0) A
	18	3.804,5 ^(14,7) b	3.654,7 ^(14,1) c	1.788,6 ^(6,9) a	16.664,1 ^(64,3) a	25.912,0 ^(100,0) a

*Letras maiúsculas (6 meses) e minúsculas (18 meses), na vertical, referem-se à separação dos contrastes de média de cada fração da biomassa nos diferentes tratamentos pelo Teste de Tukey, ao nível de 0,05 de significância. ^{/1} Para efeito de comparação, na estimativa do volume no tratamento misto foi convencionado que cada espécie ocupasse a área total. Valores entre parênteses referem-se a percentagem de cada componente em relação a biomassa total em cada tratamento.

Segundo Forrester et al. (2004), o crescimento inicial (primeiros anos de idade) da acácia-negra em plantios mistos é maior do que o do eucalipto. Eles observaram que o incremento médio anual em biomassa da acácia-negra era maior do que o eucalipto até aos 4 anos de idade, quando ocorreu inversão do crescimento, em que o incremento da acácia-negra começou a reduzir e o do eucalipto a aumentar, até chegar ao pico máximo aos 11 anos de idade. Couto et al. (2004), analisando a produção de biomassa de eucalipto com um ano de idade num sistema agrossilvipastoril, encontraram quantidade similar de biomassa para madeira e folhas. O mesmo foi verificado por Coêlho (2006) que, estudando a interação entre plantios mistos de *Eucalyptus grandis* e leguminosas arbóreas, observaram que não houve diferenças significativas para a produção de biomassa de tronco e parte aérea (folha, galho e casca) do eucalipto solteiro ou consorciado.

A biomassa acima do solo, tanto para o *Eucalyptus urograndis* como para a *Acacia mearnsii*, independentemente de se tratar de monocultivo ou plantio misto, apresentou a mesma ordem de alocação (folhas > madeira > galhos > casca) aos 6 meses de idade, quando a copa era responsável por mais de 50% da biomassa total. Já aos 18 meses, ocorreu modificação da prioridade de alocação da biomassa entre as espécies e

componentes. Para o eucalipto a sequência de alocação foi a seguinte: madeira > galhos > folhas > casca. No entanto, a acácia-negra apresentou alocação de biomassa de folhas superior à de galhos e, de forma geral, ao contrário do que ocorreu aos 6 meses, mais de 50% da biomassa total foi composta pelo tronco (madeira + casca).

Essa tendência de alocação de biomassa foi observada por Reis et al. (1985), estudando o acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado. Os autores relatam que, na fase inicial de desenvolvimento do povoamento (15 meses de idade), a biomassa contida nos componentes madeira + casca é inferior a 45% do total da biomassa aérea. Mas, com o passar do tempo, esses componentes iniciaram uma crescente elevação na contribuição, até atingir mais de 85% da biomassa aérea total, aos 73 meses de idade. Todo esse comportamento de prioridade de alocação de biomassa acima do solo com a idade dos povoamentos decorre, segundo Schumacher (1992), ao fato de que, durante a fase inicial de desenvolvimento de uma floresta, boa parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa, mas, com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si por espaço, a produção relativa do tronco aumenta e a das de folhas e ramos diminui gradativamente.

5.3.1.2 Biomassa do milho

A produção total de biomassa do milho (*Zea mays*) consorciado com plantios monoespecíficos e mistos das espécies florestais não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos testados (Tabela 5.2). Essa mesma produção entre os tratamentos pode ser atribuída ao fato de que não ocorreu competição das espécies florestais com o milho ou essa competição foi a mesma em todos os tratamentos, pois o crescimento em altura foi igual para ambas as espécies. Os principais fatores que poderiam interferir na produção agrícola seriam a concorrência por luminosidade, água e nutrientes. Em relação a esses fatores, a competição por água e nutrientes não seria prejudicial ao desenvolvimento de culturas agrícolas consorciadas, pois, como poderá ser visto no próximo capítulo, o sistema radicular, tanto do eucalipto como da acácia-negra, aos oito meses de idade, se restringe à ocupação máxima de 125 cm ao entorno da árvore e, dessa forma, há uma pequena área de concorrência com o sistema radicular das plantas de milho, pois as linhas de cultivo do milho estão a uma distância de 120 cm em relação à linha de plantio das árvores.

Porém, se o sistema radicular da *Acacia mearnsii* não está em contato com as raízes do milho, o benefício esperado através da disponibilização imediata do nitrogênio fixado pela leguminosa não ocorrerá. E, além do mais, como o consórcio é realizado na fase inicial de plantio da acácia-negra, não há a possibilidade de disponibilização de nitrogênio ao milho de outra forma, pois, nessa fase, não ocorre liberação de material orgânico (serapilheira) pelas árvores. Segundo Khanna (1997) e Vezzani et al. (2001), na fase inicial, o aumento da disponibilidade de nitrogênio no solo se dá essencialmente pela decomposição de raízes finas e nódulos, e só após a formação da copa é que a leguminosa aumentaria a taxa de ciclagem de nutrientes via serapilheira.

Tabela 5.2 – Biomassa das frações do milho em cada tratamento e posição amostral para a safra 2007/2008 (Bagé-RS).

Trat.	Posições	Folha	Colmo	Palha	Sabugo	Grãos	Total
		kg ha ⁻¹					
100E	L (E)*	396,3 ^A ab	236,8 ^A a	110,5 ^A a	153,2 ^A a	774,8 ^A a	1671,6 ^A a
	C	379,5 ^{AB} a	250,3 ^A a	100,7 ^{AB} a	144,8 ^A a	735,7 ^A a	1611,1 ^A a
	L (E)	221,6 ^B b	147,0 ^A b	58,6 ^B a	81,3 ^B a	414,6 ^B a	923,2 ^B a
	Total	997,5A	634,1A	269,9A	379,3A	1925,2A	4205,9A
100A	L (A)	325,6 ^B ab	205,2 ^B a	79,5 ^B a	111,7 ^B a	486,8 ^A a	1208,7 ^B a
	C	423,0 ^{AB} a	247,3 ^B a	97,8 ^{AB} a	137,0 ^{AB} a	593,9 ^A a	1499,0 ^{AB} a
	L (A)	517,6 ^A a	392,8 ^A a	133,8 ^A a	178,7 ^A a	724,4 ^A a	1947,3 ^A a
	Total	1266,2A	845,3A	311,1A	427,4A	1805,1A	4654,9A
50E:50A	L (E)	499,0 ^A a	179,6 ^A a	111,0 ^{AB} a	146,5 ^A a	625,0 ^{AB} a	1561,1 ^{AB} a
	C	493,5 ^A a	260,3 ^A a	132,8 ^A a	173,4 ^A a	755,2 ^A a	1815,1 ^A a
	L (A)	268,6 ^B b	134,7 ^A b	74,3 ^B a	96,9 ^A a	434,5 ^B a	1009,1 ^B a
	Total	1261,1A	574,6A	318,1A	416,8A	1814,7A	4385,3A
75E:25A	L (E)	215,1 ^B b	145,4 ^B a	74,6 ^A a	96,5 ^A a	461,6 ^A a	993,2 ^B a
	C	437,1 ^A a	283,1 ^A a	112,2 ^A a	145,0 ^A a	697,6 ^A a	1675,0 ^A a
	L (A)	307,7 ^{AB} ab	193,4 ^{AB} ab	101,3 ^A a	130,8 ^A a	627,0 ^A a	1360,2 ^{AB} a
	Total	959,9A	621,8A	288,1A	372,3A	1786,2A	4028,3A
25E:75A	L (E)	330,0 ^A ab	205,8 ^A a	85,5 ^A a	122,6 ^A a	582,5 ^A a	1326,3 ^A a
	C	338,2 ^A a	209,7 ^A a	95,2 ^A a	132,3 ^A a	606,1 ^A a	1381,5 ^A a
	L (A)	349,4 ^A ab	180,0 ^A b	83,2 ^A a	119,6 ^A a	572,3 ^A a	1304,5 ^A a
	Total	1017,5A	595,5A	263,9A	374,5A	1760,9A	4012,3A

* Posições de coleta: L (E) e L (A) = coleta da biomassa de milho nas linhas laterais próximas às árvores de eucalipto e acácia-negra, respectivamente; C = coleta na linha central. Letras sobrescritas referem-se à separação dos contrastes de médias de cada fração da biomassa nas posições de coleta em cada tratamento; letras minúsculas referem-se à separação dos contrastes de médias de cada fração da biomassa nos diferentes tratamentos em cada posição de coleta; e letras maiúsculas referem-se à separação dos contrastes do total de cada fração nos diferentes tratamentos pelo Teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância.

Em relação à produtividade em grãos do milho, esta variou de 1.760,9 (25E:75A) a 1.925,2 kg ha⁻¹ (100E), mas sem diferença significativa ($p > 0,05$) entre os tratamentos. Já, Kleinpaul (2008) obteve uma produtividade inferior à deste estudo (1.010,0 a 1.260,0 Kg ha⁻¹) durante a safra 2006/2007 num sistema agrossilvicultural na região de Bagé.

Considerando que a área efetivamente ocupada com o cultivo do milho corresponda a apenas 60% da área total do sistema agrossilvicultural e que a produtividade média do milho em monocultivo na região de Bagé para essa mesma safra (2007/2008) foi de 1.853 kg ha⁻¹ (EMATER-RS/ASCAR, 2009), pode-se afirmar que o consórcio foi altamente produtivo. Segundo Dubois (1979), as árvores podem funcionar como quebra-ventos, evitando a incidência direta de ventos, o que poderia reduzir o índice de evaporação e gerar a amortização da intensidade de incidência dos ventos, causando efeitos positivos nas características mesoclimáticas. Provavelmente, a redução do índice de evaporação seja o principal fator causador do aumento da produtividade do consórcio, pois, durante todo o período de produção, a região passou por escassez hídrica (baixa pluviosidade), como pode ser verificado no diagrama climático (Figura 3.3).

Em relação à prioridade de alocação da biomassa do milho, esta foi igual em todos os tratamentos e posições de amostragem, com uma magnitude da seguinte ordem: grão > folha > colmo > sabugo > palha. Esse mesmo padrão é verificado na literatura (CANTARELLA; DUARTE, 2008; KLEINPAUL, 2008).

No que se refere às posições de amostragem (linhas laterais e linha central), a prioridade de alocação de biomassa de milho diferiu significativamente ($p < 0,05$) em um ou mais componentes, com exceção do tratamento 25E:75A. Essas diferenças entre as posições podem ser atribuídas, em parte, ao efeito negativo exercido pelas árvores, a menor disponibilidade de radiação nas linhas de milho próximas a elas e à variabilidade do número de plantas de milho por metro linear.

A intensidade da colheita praticada no milho pelos produtores rurais em sistemas agrossilviculturais é resultado da retirada apenas da espiga (grão + sabugo + palha). Já os demais componentes permanecem no sistema, podendo formar uma camada protetora do solo que diminui os efeitos erosivos, visto que o colmo e as folhas correspondem a aproximadamente 40% da biomassa total.

5.3.2 Nutrientes

Os teores e quantidades de nutrientes nas frações da biomassa de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, aos 6 meses de idade, nos tratamentos 100E, 100A e 50E:50A, podem ser verificados nas Tabelas 5.3 e 5.4, enquanto para o milho, em todos os tratamentos analisados neste estudo, podem ser observados nas Tabelas 5.5 a 5.7.

5.3.2.1 Nutrientes nas espécies florestais

Em relação aos nutrientes, os diferentes componentes das árvores apresentaram composições químicas estatisticamente distintas ($p < 0,05$). Com exceção do Ca, que esteve mais concentrado na fração casca, os demais nutrientes do *Eucalyptus urograndis*, tanto em monocultivo como em plantio misto (Tabela 5.3), possuíram maior concentração nas folhas. Já na *Acacia mearnsii*, todos os nutrientes apresentaram concentração significativamente maior ($p < 0,05$) nas folhas. Essa tendência que a maioria dos nutrientes tem de concentrar-se nas estruturas mais novas da planta é devida ao fato de as folhas possuírem maior atividade metabólica. Além disso, nessas regiões é que se encontra a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e pela transpiração.

Essa mesma tendência, de maior concentração de nutrientes nas folhas, foi encontrada por Golley (1975), Bellote et al. (1980), Haag (1985), La Torraca et al. (1984), Schumacher e Poggiani (1993), Pereira et al. (2000), Brun (2004), Viera (2007), Kleimpaul (2008), Witschoreck (2008). E todos esses autores relacionam essa tendência ao fato de que nas folhas há uma maior atividade metabólica, necessitando, dessa forma, maior disponibilidade de nutrientes. Além do mais, segundo Ferri (1985), a maioria dos nutrientes possui mobilidade dentro da planta e, com isso, tende a se concentrar nos órgãos mais novos. É o caso, por exemplo, do nitrogênio, o qual possui teores bem superiores nas folhas do que nos demais componentes da biomassa. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato de este elemento participar da maioria das reações de metabolismo de compostos (aminoácidos, proteínas, aminas, amidas, vitaminas, etc.), as quais têm seu sítio de ocorrência principal nas folhas, em virtude da fotossíntese (MALAVOLTA, 1985; EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A exemplo do nitrogênio, segundo Brun (2004), o fósforo tem ampla mobilidade dentro da planta e, com isso, ele tende a se concentrar nos órgãos mais novos, no caso deste estudo, no componente folhas. Já no caso do Ca, esse mesmo autor salienta que, devido a sua imobilidade no floema das plantas, poderia-se explicar a sua concentração elevada na fração casca, assim como o fato de o elemento ser componente estrutural, por fazer parte da lamela média de membrana celular.

A diferença de concentração de nutrientes entre os componentes e dentro dos componentes da planta é decorrente do ciclo bioquímico que envolve a retranslocação de um determinado elemento de um local de residência (órgão) para outro, como por exemplo, de uma folha velha para uma nova (MALAVOLTA et al., 1997), ou seja, refere-se à transferência de nutrientes no próprio interior da planta. Segundo Nambier e Fife (1987), a taxa de crescimento das árvores, mais do que a disponibilidade de nutrientes no solo, é o principal fator controlador da retranslocação e, em espécies florestais, a retranslocação dos nutrientes dentro da planta constitui-se em uma fonte de suprimento importante.

Em relação ao efeito do consórcio das espécies florestais, não se verificou efeito positivo significativo ($p > 0,05$), mas efeito negativo para a concentração do nitrogênio e magnésio nos galhos e de cobre na casca, os quais foram inferiores significativamente ($p < 0,05$) no plantio misto de *Acacia mearnsii* em comparação com seu monocultivo. Já o cultivo misto do *Eucalyptus urograndis* apresentou redução significativa ($p < 0,05$) nos teores de potássio nos galhos e de manganês nas folhas e casca em relação ao monocultivo.

Foi verificada uma concentração de manganês bem superior nas folhas de eucalipto em relação à acácia-negra. Segundo Malavolta et al. (1997), dentre todos os micronutrientes o Mn é o mais importante no desenvolvimento de resistência a doenças fúngicas das folhas e das raízes.

Tabela 5.3 – Teores de nutrientes nas diferentes frações da biomassa de plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* aos 6 meses de idade.

Tratamento	Fração	Macronutrientes (g kg ⁻¹)						Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
100E	Folhas	36,58 ^{aAB*}	1,72 ^{aA}	7,44 ^{abAB}	7,69 ^{bA}	1,92 ^{aA}	2,05 ^{aA}	35,51 ^{aB*}	11,72 ^{aA}	102,00 ^{aA}	2.511,23 ^{aA}	20,62 ^{aA}
	Galhos	7,15 ^{bC}	0,65 ^{bA}	9,53 ^{aA}	6,19 ^{bA}	1,27 ^{bB}	0,38 ^{bAB}	16,38 ^{bA}	6,57 ^{bA}	18,11 ^{bB}	1.306,89 ^{cA}	12,54 ^{bA}
	Casca	6,41 ^{bB}	0,51 ^{bAB}	6,20 ^{bA}	11,42 ^{aA}	1,89 ^{aA}	0,35 ^{bA}	28,77 ^{aA}	2,84 ^{bB}	30,27 ^{bA}	1.813,04 ^{bA}	7,76 ^{cA}
	Madeira	6,10 ^{bA}	0,62 ^{bA}	6,28 ^{bA}	1,42 ^{cAB}	0,69 ^{cAB}	0,29 ^{bAB}	6,54 ^{cA}	5,69 ^{bA}	10,45 ^{cAB}	349,24 ^{dA}	10,97 ^{bcA}
100A	Folhas	41,09 ^{aA}	1,91 ^{aA}	8,03 ^{aAB}	7,81 ^{aA}	2,07 ^{aA}	1,87 ^{aA}	59,48 ^{aA}	17,57 ^{aA}	144,88 ^{aA}	251,96 ^{aC}	24,01 ^{aA}
	Galhos	14,63 ^{bA}	0,81 ^{bA}	6,44 ^{bBC}	6,10 ^{bAB}	2,10 ^{aA}	0,53 ^{bA}	15,47 ^{bA}	7,76 ^{bA}	52,68 ^{bcA}	86,46 ^{bB}	18,09 ^{bA}
	Casca	15,33 ^{bA}	0,78 ^{bA}	5,72 ^{bA}	6,19 ^{bB}	1,68 ^{aAB}	0,39 ^{cA}	15,46 ^{bB}	3,76 ^{bA}	95,05 ^{abA}	84,54 ^{bC}	10,19 ^{cA}
	Madeira	6,52 ^{cA}	0,47 ^{bA}	4,44 ^{cA}	1,41 ^{cAB}	0,86 ^{bA}	0,37 ^{cAB}	6,27 ^{cA}	5,25 ^{bA}	17,40 ^{cA}	27,82 ^{cB}	9,07 ^{cA}
50E:50A (E)	Folhas	35,38 ^{aB}	2,29 ^{aA}	8,58 ^{aA}	6,88 ^{bA}	1,76 ^{aA}	1,88 ^{aA}	44,82 ^{aAB}	13,46 ^{aA}	108,72 ^{aA}	2.147,22 ^{aB}	21,51 ^{aA}
	Galhos	6,61 ^{bC}	0,67 ^{bA}	7,92 ^{aB}	5,83 ^{cAB}	0,94 ^{bB}	0,35 ^{bB}	14,76 ^{bA}	7,39 ^{bA}	17,74 ^{bB}	943,29 ^{bA}	12,60 ^{bA}
	Casca	5,56 ^{bB}	0,37 ^{dB}	5,70 ^{cA}	9,85 ^{aA}	1,67 ^{aAB}	0,31 ^{bA}	34,99 ^{aA}	3,28 ^{dAB}	20,59 ^{bA}	1.487,17 ^{bB}	6,95 ^{cA}
	Madeira	5,41 ^{bA}	0,52 ^{cA}	6,42 ^{bA}	1,12 ^{dB}	0,57 ^{cB}	0,24 ^{cB}	6,73 ^{bA}	5,41 ^{cA}	7,22 ^{cB}	244,27 ^{cA}	11,46 ^{bA}
50E:50A (A)	Folhas	39,33 ^{aAB}	1,74 ^{aA}	6,44 ^{aB}	8,78 ^{aA}	2,28 ^{aA}	1,82 ^{aA}	44,82 ^{aAB}	13,57 ^{aA}	140,42 ^{aA}	394,32 ^{aC}	24,18 ^{aA}
	Galhos	11,40 ^{bB}	0,59 ^{bA}	5,04 ^{aC}	3,95 ^{bB}	1,26 ^{bB}	0,39 ^{bAB}	10,07 ^{bB}	5,76 ^{bA}	39,77 ^{bA}	66,14 ^{cB}	12,85 ^{bA}
	Casca	13,95 ^{bA}	0,75 ^{bA}	5,22 ^{aA}	5,49 ^{bB}	1,20 ^{bB}	0,42 ^{bA}	11,81 ^{bB}	2,98 ^{bB}	37,64 ^{bA}	101,73 ^{bC}	8,56 ^{bA}
	Madeira	7,34 ^{aA}	0,86 ^{bA}	4,98 ^{aA}	1,76 ^{cA}	0,82 ^{cA}	0,40 ^{bA}	5,50 ^{bA}	5,08 ^{bA}	13,93 ^{cAB}	43,08 ^{dB}	9,81 ^{bA}

* Letras minúsculas referem-se à separação dos contrastes de médias da concentração de nutrientes entre as diferentes frações da biomassa em cada tratamento (Teste *t*) e letras maiúsculas referem-se à separação dos contrastes de médias de cada fração da biomassa nos diferentes tratamentos (Teste de Tukey), ao nível de 0,05 de significância.

A quantidade de nutrientes nas diferentes frações da biomassa de plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, aos 6 meses de idade, pode ser observada na Tabela 5.4. De modo geral, a importância de armazenamento para os nutrientes nos componentes da biomassa segue a referida ordem: folhas > galhos > madeira > casca, para o *Eucalyptus urograndis*, e maior acúmulo na madeira em relação aos galhos na *Acacia mearnsii*. Schumacher et al. (2007), avaliando um sistema agroflorestal com acácia-negra, no Sul do Brasil, também encontraram para a fração folha maior acúmulo de nutrientes, seguida por madeira > galho > casca, tanto no plantio puro como no consorciado.

A magnitude de armazenamento dos diferentes elementos na biomassa total foi a mesma, apresentando a seguinte ordem decrescente de acúmulo: N > K > Ca > Mg > P > S, para os macronutrientes, e Mn > Fe > B > Zn > Cu, para os micronutrientes. Essa seqüência, com exceção do Ca que apresentou maior acúmulo dentre todos os elementos, foi igual a dos trabalhos realizados por Viera (2007) com *Eucalyptus urograndis* com 18 meses de idade, por Freitas (2000) com *Eucalyptus grandis* aos nove anos de idade, por Schumacher e Caldeira (2001) com *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii* aos quatro anos de idade, por Santana et al. (1999) e Teixeira et al. (1989) em povoamentos de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* respectivamente, e por Caldeira et al. (1999) em povoamentos de *Acacia mearnsii*.

O acúmulo inferior de Ca em relação ao nitrogênio e ao potássio verificado neste estudo decorre da juvenilidade das árvores, as quais possuem menores quantidades de tecidos senescentes onde há maior armazenamento do nutriente Ca. Essa tendência foi verificada por Reis et al. (1987), avaliando *Eucalyptus grandis*, situação em que encontraram para um povoamento com 15 meses de idade a seguinte magnitude de armazenamento: N > K > Ca > Mg > P, diferindo para o povoamento com 21 meses (N > Ca > K > Mg > P).

Não se verificaram grandes diferenças no acúmulo de nutrientes entre os monocultivos e o plantio misto das espécies florestais. Vezzani et al. (2001), analisando o acúmulo de nutrientes em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii*, aos 45 meses de idade, observaram que a copa (folhas + galhos) do plantio misto acumulou 22% a mais nitrogênio do que a do monocultivo do eucalipto. Segundo os autores supracitados, esse maior acúmulo de N nos galhos e folhas no plantio misto evidencia o benefício deste no enriquecimento do sistema com N, elevando o potencial produtivo, devido a esses componentes representarem uma ciclagem relativamente rápida em relação à madeira e casca e, ainda, com a vantagem de permanecer o sítio quando as árvores são colhidas.

Tabela 5.4 – Quantidade de nutrientes nas diferentes frações da biomassa de plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* aos 6 meses de idade.

Tratamento	Fração	Macronutrientes (kg ha ⁻¹)						Micronutrientes (g ha ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
100E	Folhas	29,6 ^{(77,7)*}	1,4 ^(63,6)	6,0 ^(40,2)	6,2 ^(50,8)	1,6 ^(52,4)	1,7 ^(79,0)	28,9 ^{(62,0)*}	9,6 ^(56,4)	83,8 ^(80,1)	2029,6 ^(63,4)	16,7 ^(54,0)
	Galhos	3,9 ^(10,4)	0,4 ^(16,2)	4,4 ^(29,3)	3,4 ^(27,4)	0,7 ^(23,7)	0,2 ^(10,0)	9,1 ^(19,4)	3,7 ^(21,5)	10,0 ^(9,5)	682,9 ^(21,3)	6,8 ^(22,0)
	Casca	1,0 ^(2,7)	0,1 ^(3,8)	1,0 ^(6,6)	1,9 ^(15,2)	0,3 ^(10,4)	0,1 ^(2,7)	4,8 ^(10,2)	0,5 ^(2,7)	4,8 ^(4,6)	292,3 ^(9,1)	1,3 ^(4,1)
	Madeira	3,5 ^(9,2)	0,4 ^(16,4)	3,6 ^(23,9)	0,8 ^(6,6)	0,4 ^(13,5)	0,2 ^(8,2)	3,9 ^(8,4)	3,3 ^(19,4)	6,1 ^(5,8)	196,0 ^(6,1)	6,2 ^(20,0)
	Total	38,1 ^(100,0)	2,2 ^(100,0)	15,0 ^(100,0)	12,3 ^(100,0)	3,0 ^(100,0)	2,1 ^(100,0)	46,7 ^(100,0)	17,1 ^(100,0)	104,7 ^(100,0)	3200,8 ^(100,0)	31,0 ^(100,0)
100A	Folhas	24,9 ^(71,7)	1,2 ^(65,6)	4,8 ^(48,8)	4,7 ^(59,3)	1,3 ^(49,9)	1,1 ^(73,3)	35,4 ^(78,4)	10,5 ^(65,7)	88,0 ^(70,3)	150,9 ^(74,9)	14,4 ^(55,9)
	Galhos	3,5 ^(10,1)	0,2 ^(11,2)	1,5 ^(15,3)	1,4 ^(18,0)	0,5 ^(19,5)	0,1 ^(8,4)	3,6 ^(8,0)	1,8 ^(11,2)	12,4 ^(9,9)	21,0 ^(10,4)	4,3 ^(16,8)
	Casca	2,3 ^(6,6)	0,1 ^(6,6)	0,9 ^(8,7)	0,9 ^(11,8)	0,3 ^(10,0)	0,1 ^(3,8)	2,3 ^(5,1)	0,6 ^(3,5)	14,3 ^(11,4)	12,7 ^(6,3)	1,5 ^(5,9)
	Madeira	4,0 ^(11,6)	0,3 ^(16,6)	2,7 ^(27,2)	0,9 ^(10,9)	0,5 ^(20,6)	0,2 ^(14,6)	3,8 ^(8,4)	3,1 ^(19,6)	10,5 ^(8,4)	16,9 ^(8,4)	5,5 ^(21,3)
	Total	34,7 ^(100,0)	1,8 ^(100,0)	9,9 ^(100,0)	7,9 ^(100,0)	2,5 ^(100,0)	1,5 ^(100,0)	45,2 ^(100,0)	16,0 ^(100,0)	125,2 ^(100,0)	201,5 ^(100,0)	25,8 ^(100,0)
50E:50A (E)	Folhas	34,8 ^(77,3)	2,2 ^(69,4)	8,5 ^(41,3)	6,9 ^(48,4)	1,7 ^(53,6)	1,8 ^(78,1)	43,5 ^(64,6)	13,2 ^(56,4)	108,0 ^(82,3)	2112,8 ^(63,7)	21,0 ^(52,0)
	Galhos	4,8 ^(10,7)	0,5 ^(15,3)	5,8 ^(28,2)	4,2 ^(29,9)	0,7 ^(21,2)	0,3 ^(10,8)	10,7 ^(15,9)	5,4 ^(22,9)	12,9 ^(9,8)	681,8 ^(20,6)	9,1 ^(22,5)
	Casca	1,3 ^(2,8)	0,1 ^(2,6)	1,3 ^(6,3)	2,2 ^(15,8)	0,4 ^(11,6)	0,1 ^(3,0)	7,9 ^(11,8)	0,7 ^(3,2)	4,7 ^(3,6)	335,1 ^(10,1)	1,6 ^(3,9)
	Madeira	4,2 ^(9,3)	0,4 ^(12,7)	5,0 ^(24,2)	0,8 ^(6,0)	0,4 ^(13,5)	0,2 ^(8,1)	5,2 ^(7,7)	4,1 ^(17,6)	5,6 ^(4,2)	186,1 ^(5,6)	8,8 ^(21,6)
	Total	45,1 ^(100,0)	3,2 ^(100,0)	20,5 ^(100,0)	14,2 ^(100,0)	3,2 ^(100,0)	2,4 ^(100,0)	67,3 ^(100,0)	23,4 ^(100,0)	131,2 ^(100,0)	3315,7 ^(100,0)	40,5 ^(100,0)
50E:50A (A)	Folhas	31,7 ^(70,3)	1,4 ^(58,9)	5,1 ^(43,9)	6,8 ^(60,2)	1,8 ^(55,7)	1,5 ^(73,7)	36,3 ^(75,7)	10,2 ^(60,4)	114,3 ^(74,5)	300,2 ^(79,1)	19,6 ^(58,6)
	Galhos	5,8 ^(12,8)	0,3 ^(12,0)	2,4 ^(20,2)	2,2 ^(19,3)	0,7 ^(20,1)	0,2 ^(9,1)	5,5 ^(11,4)	2,7 ^(16,0)	22,5 ^(14,7)	31,7 ^(8,3)	5,9 ^(17,7)
	Casca	2,7 ^(6,1)	0,1 ^(6,3)	1,0 ^(8,8)	1,1 ^(9,8)	0,2 ^(7,5)	0,1 ^(4,0)	2,4 ^(5,0)	0,6 ^(3,5)	7,9 ^(5,2)	19,2 ^(5,1)	1,6 ^(4,9)
	Madeira	4,8 ^(10,7)	0,5 ^(22,7)	3,2 ^(27,1)	1,2 ^(10,7)	0,5 ^(16,7)	0,3 ^(13,2)	3,8 ^(7,9)	3,4 ^(20,1)	8,7 ^(5,7)	28,6 ^(7,5)	6,2 ^(18,7)
	Total	45,1 ^(100,0)	2,3 ^(100,0)	11,7 ^(100,0)	11,3 ^(100,0)	3,3 ^(100,0)	2,0 ^(100,0)	47,9 ^(100,0)	16,8 ^(100,0)	153,4 ^(100,0)	379,7 ^(100,0)	33,4 ^(100,0)

* Valores entre parênteses referem-se ao percentual do total de cada nutriente contido nas diferentes frações da biomassa arbórea em cada tratamento.

5.3.2.2 Nutrientes no milho

Em relação aos nutrientes, os diferentes componentes da biomassa acima do solo do milho apresentaram composições químicas estatisticamente distintas ($p < 0,05$). O componente grãos possui as maiores concentrações de nitrogênio e fósforo. Já a palha e o sabugo apresentam as maiores concentrações de potássio, e o componente folha possui as maiores concentrações dos demais nutrientes.

A elevada concentração de N e P nos grãos é explicada pelo fato de eles desempenharem diversas funções. O P, por exemplo, tem a função de estimular o crescimento, apressar a maturação e ajudar na formação das sementes, na respiração e na absorção iônica de outros elementos (FERRI, 1985). Segundo Sayre (1948), as plantas de milho acumulam grandes quantidades de nitrogênio até quando cerca da metade da massa de grãos está formada, a partir de então, cessa o acúmulo na maior parte da planta e continua nos grãos, indicando que o N se transloca de outros órgãos (tecidos) da planta para os grãos.

Segundo Hanway (1962), no milho, quando atinge a maturidade, cerca de um terço do nitrogênio e metade do fósforo que estão contidos nos grãos são provenientes de outras partes da planta, inclusive da palha e do pedúnculo da espiga, devido à alta taxa de translocação desses nutrientes no interior da planta.

As espécies florestais não influenciaram significativamente ($p > 0,05$) nos teores de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa acima do solo do milho, com exceção da palha, onde o boro teve maior concentração nos tratamentos 50E:50A e 25E:75A, o cobre nos tratamentos 100E e 25E:75A e, por fim, o manganês no tratamento 50E:50A, em relação ao tratamento 100A e o componente folha onde o manganês foi superior no tratamento 50E:50A em relação aos tratamentos 100A, 75E:25A e 25E:75A.

Mas essas diferenças ainda não demonstram nitidamente as possíveis influências das espécies florestais no comportamento dos nutrientes no milho. Visto que, pelo momento da amostragem da biomassa do milho, a floresta se encontrava com aproximadamente 6 meses de idade e com pouca interferência aparente no desenvolvimento da cultura agrícola. No estudo realizado por Kleinpaul (2008), não foi observada nenhuma diferença significativa nos teores de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa do milho entre os tratamentos mistos e monoespecíficos de espécies florestais.

Tabela 5.5 – Teores de nutrientes nas frações da biomassa do milho nos diferentes tratamentos.

Trat.	Fração	Macronutrientes (g kg ⁻¹)						Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
100E	Folha	14,88 ^{bA*}	1,01 ^{bA}	3,44 ^{cA}	5,27 ^{aA}	2,87 ^{aA}	1,54 ^{aA}	16,27 ^{aA}	17,46 ^{aA}	369,81 ^{aA}	463,96 ^{aAB}	26,06 ^{aA}
	Colmo	10,99 ^{cA}	0,59 ^{c^dA}	6,68 ^{aA}	2,27 ^{bA}	2,51 ^{aA}	1,07 ^{bA}	5,42 ^{bcA}	6,80 ^{bcA}	36,66 ^{bA}	59,66 ^{cA}	36,09 ^{aA}
	Palha	6,54 ^{cA}	0,47 ^{dA}	6,25 ^{abA}	1,02 ^{cA}	1,57 ^{bA}	0,67 ^{cA}	9,57 ^{bAB}	7,32 ^{bA}	56,80 ^{bA}	85,77 ^{bAB}	36,11 ^{aA}
	Sabugo	8,52 ^{dA}	0,69 ^{cA}	6,04 ^{abcA}	0,27 ^{dA}	0,72 ^{cA}	0,79 ^{cA}	3,41 ^{cA}	6,41 ^{bcA}	34,12 ^{bA}	18,25 ^{dA}	37,92 ^{aA}
	Grãos	17,69 ^{aA}	2,24 ^{aA}	3,63 ^{bcA}	0,18 ^{dA}	1,58 ^{bA}	1,34 ^{aA}	7,55 ^{bA}	3,51 ^{cA}	36,70 ^{bA}	11,57 ^{dA}	32,47 ^{aA}
100A	Folha	12,96 ^{bA}	0,91 ^{bA}	3,09 ^{bA}	4,61 ^{aA}	2,75 ^{aA}	1,29 ^{aA}	17,27 ^{aA}	11,18 ^{aA}	376,40 ^{aA}	391,82 ^{aB}	30,55 ^{aA}
	Colmo	13,49 ^{bA}	0,81 ^{bA}	5,43 ^{aA}	2,35 ^{bA}	2,32 ^{bA}	1,21 ^{aA}	6,24 ^{bA}	7,09 ^{bA}	44,83 ^{bA}	57,20 ^{bA}	36,11 ^{aA}
	Palha	7,57 ^{cA}	0,85 ^{bA}	6,39 ^{aA}	0,96 ^{cA}	1,64 ^{cA}	0,70 ^{bA}	6,73 ^{bb}	4,94 ^{cB}	52,55 ^{bA}	80,78 ^{bB}	26,95 ^{aA}
	Sabugo	8,87 ^{cA}	0,86 ^{bA}	5,39 ^{aA}	0,30 ^{dA}	0,75 ^{dA}	0,76 ^{bA}	4,25 ^{cA}	5,53 ^{bcA}	28,04 ^{cA}	19,35 ^{cA}	39,20 ^{aA}
	Grãos	16,93 ^{aA}	2,55 ^{aA}	2,85 ^{bA}	0,16 ^{dA}	1,28 ^{cA}	1,16 ^{aA}	5,45 ^{bcA}	2,54 ^{dA}	27,30 ^{cA}	9,18 ^{dA}	24,28 ^{aA}
50E:50A	Folha	14,34 ^{bA}	0,91 ^{bA}	1,93 ^{cA}	5,51 ^{aA}	3,06 ^{aA}	1,31 ^{aA}	17,55 ^{aA}	14,75 ^{aA}	438,80 ^{aA}	578,51 ^{aA}	28,26 ^{cdA}
	Colmo	14,06 ^{bA}	0,64 ^{cA}	4,30 ^{bcA}	2,47 ^{bA}	3,04 ^{aA}	1,61 ^{aA}	5,32 ^{cA}	11,12 ^{bA}	57,43 ^{bA}	78,49 ^{cA}	68,93 ^{aA}
	Palha	6,93 ^{dA}	0,51 ^{cA}	6,50 ^{abA}	1,07 ^{cA}	1,71 ^{bA}	0,73 ^{bA}	10,26 ^{bA}	6,28 ^{cAB}	44,74 ^{bcA}	123,46 ^{bA}	34,68 ^{cA}
	Sabugo	8,74 ^{cA}	0,80 ^{bA}	7,20 ^{aA}	0,28 ^{dA}	0,75 ^{dA}	0,90 ^{bA}	5,20 ^{cA}	6,94 ^{cA}	34,82 ^{cA}	28,65 ^{dA}	52,44 ^{bA}
	Grãos	17,15 ^{aA}	1,98 ^{aA}	2,42 ^{cA}	0,10 ^{eA}	1,02 ^{cA}	1,31 ^{aA}	5,19 ^{cA}	2,19 ^{dA}	17,91 ^{dA}	9,95 ^{eA}	22,28 ^{dA}
75E:25A	Folha	14,14 ^{abA}	1,12 ^{bA}	3,21 ^{bA}	5,09 ^{aA}	2,72 ^{aA}	1,37 ^{aA}	17,92 ^{aA}	14,07 ^{aA}	289,07 ^{aA}	344,92 ^{aB}	28,88 ^{abA}
	Colmo	13,00 ^{abA}	0,64 ^{bcA}	5,31 ^{abA}	2,61 ^{bA}	2,28 ^{aA}	1,38 ^{aA}	6,53 ^{bcA}	11,26 ^{bA}	38,86 ^{bcA}	52,01 ^{bcA}	58,34 ^{aA}
	Palha	6,69 ^{dA}	0,47 ^{cA}	6,66 ^{aA}	1,75 ^{cA}	1,88 ^{abA}	0,90 ^{bA}	9,91 ^{abAB}	6,09 ^{cAB}	65,82 ^{bA}	101,24 ^{bAB}	32,36 ^{abA}
	Sabugo	8,90 ^{cdA}	0,68 ^{bcA}	5,81 ^{abA}	0,36 ^{dA}	0,70 ^{cA}	1,16 ^{abA}	5,01 ^{cA}	6,01 ^{cA}	35,50 ^{bcA}	15,63 ^{cA}	35,00 ^{abA}
	Grãos	17,49 ^{aA}	2,54 ^{aA}	3,59 ^{abA}	0,22 ^{dA}	1,24 ^{bcA}	1,46 ^{aA}	7,89 ^{bA}	2,94 ^{dA}	28,70 ^{cA}	11,08 ^{cA}	28,30 ^{bA}
25E:75A	Folha	14,74 ^{bA}	1,23 ^{bA}	2,67 ^{bA}	4,77 ^{aA}	1,86 ^{abA}	1,52 ^{aA}	16,28 ^{aA}	14,39 ^{aA}	324,06 ^{aA}	393,42 ^{aB}	29,35 ^{bA}
	Colmo	14,88 ^{bA}	0,70 ^{bcA}	5,82 ^{abA}	2,66 ^{bA}	2,28 ^{aA}	1,52 ^{aA}	6,96 ^{cA}	11,50 ^{abA}	49,71 ^{bcA}	61,56 ^{bA}	76,54 ^{aA}
	Palha	6,42 ^{dA}	0,50 ^{cA}	6,87 ^{aA}	1,15 ^{cA}	1,37 ^{abA}	0,78 ^{bA}	11,29 ^{bA}	7,37 ^{bcA}	83,50 ^{bA}	94,01 ^{bAB}	30,88 ^{bA}
	Sabugo	9,21 ^{cA}	0,69 ^{bcA}	5,84 ^{abA}	0,35 ^{dA}	0,63 ^{bA}	0,97 ^{bA}	5,89 ^{cA}	6,24 ^{cA}	39,51 ^{cA}	23,58 ^{cA}	39,63 ^{bA}
	Grãos	18,39 ^{aA}	3,21 ^{aA}	3,83 ^{abA}	0,25 ^{dA}	1,27 ^{abA}	1,57 ^{aA}	7,63 ^{bcA}	3,44 ^{cA}	33,55 ^{cA}	15,53 ^{cA}	36,27 ^{bA}

* Letras minúsculas referem-se à separação dos contrastes de médias da concentração de nutrientes entre as diferentes frações da biomassa em cada tratamento (Teste *t*) e as letras maiúsculas referem-se à separação dos contrastes de médias de cada fração da biomassa nos diferentes tratamentos (Teste de Tukey), ao nível de 0,05 de significância.

O estoque de macronutrientes e micronutrientes nos componentes da biomassa acima do solo do milho em cada diferente consórcio agrossilvicultural estão apresentados nas Tabelas 5.6 e 5.7, respectivamente.

Tabela 5.6 – Quantidade de macronutrientes nas frações da biomassa do milho nos diferentes tratamentos.

Trat.	Fração	kg ha ⁻¹					
		N	P	K	Ca	Mg	S
100E	Folha	14,7 ^{(24,3)*}	1,0 ^(16,8)	3,5 ^(18,9)	5,2 ^(71,2)	2,9 ^(35,1)	1,5 ^(29,1)
	Colmo	6,9 ^(11,4)	0,4 ^(6,3)	4,2 ^(22,6)	1,4 ^(19,0)	1,5 ^(18,9)	0,7 ^(12,6)
	Palha	1,8 ^(2,9)	0,1 ^(2,1)	1,6 ^(8,9)	0,3 ^(3,80)	0,4 ^(5,2)	0,2 ^(3,4)
	Sabugo	3,2 ^(5,3)	0,3 ^(4,3)	2,3 ^(12,3)	0,1 ^(1,4)	0,3 ^(3,3)	0,3 ^(5,7)
	Grãos	34,0 ^(56,1)	4,2 ^(70,7)	6,9 ^(37,3)	0,3 ^(4,6)	3,1 ^(37,4)	2,6 ^(49,2)
	Total	60,6 ^(100,0)	6,0 ^(100,0)	18,6 ^(100,0)	7,3 ^(100,0)	8,2 ^(100,0)	5,2 ^(100,0)
100A	Folha	16,3 ^(25,5)	1,1 ^(16,4)	4,0 ^(22,4)	5,8 ^(68,3)	3,4 ^(40,4)	1,6 ^(31,3)
	Colmo	11,5 ^(18,0)	0,7 ^(9,8)	4,6 ^(25,5)	2,0 ^(23,4)	2,0 ^(23,0)	1,0 ^(19,4)
	Palha	2,3 ^(3,6)	0,3 ^(3,7)	1,9 ^(10,8)	0,3 ^(3,5)	0,5 ^(6,0)	0,2 ^(4,0)
	Sabugo	3,8 ^(5,9)	0,4 ^(5,2)	2,3 ^(12,9)	0,1 ^(1,5)	0,3 ^(3,7)	0,3 ^(6,1)
	Grãos	30,0 ^(46,9)	4,5 ^(64,9)	5,1 ^(28,4)	0,3 ^(3,3)	2,3 ^(26,9)	2,1 ^(39,3)
	Total	63,9 ^(100,0)	7,0 ^(100,0)	17,8 ^(100,0)	8,5 ^(100,0)	8,5 ^(100,0)	5,3 ^(100,0)
50E:50A	Folha	18,1 ^(28,6)	1,1 ^(20,4)	2,4 ^(16,9)	6,9 ^(77,0)	3,9 ^(46,5)	1,6 ^(29,6)
	Colmo	8,1 ^(12,8)	0,4 ^(6,9)	2,4 ^(16,5)	1,4 ^(15,9)	1,7 ^(20,8)	0,9 ^(16,6)
	Palha	2,2 ^(3,5)	0,2 ^(2,9)	2,1 ^(14,6)	0,3 ^(3,8)	0,5 ^(6,6)	0,2 ^(4,2)
	Sabugo	3,7 ^(5,8)	0,3 ^(6,0)	3,0 ^(21,3)	0,1 ^(1,3)	0,3 ^(3,8)	0,4 ^(6,8)
	Grãos	31,1 ^(49,3)	3,6 ^(63,9)	4,4 ^(30,7)	0,2 ^(2,0)	1,9 ^(22,3)	2,4 ^(42,9)
	Total	63,2 ^(100,0)	5,6 ^(100,0)	14,3 ^(100,0)	9,0 ^(100,0)	8,3 ^(100,0)	5,5 ^(100,0)
75E:25A	Folha	13,6 ^(23,6)	1,1 ^(17,0)	3,2 ^(18,8)	4,9 ^(65,4)	2,6 ^(36,7)	1,3 ^(25,1)
	Colmo	7,9 ^(13,7)	0,4 ^(6,2)	3,4 ^(19,9)	1,6 ^(21,9)	1,4 ^(20,4)	0,8 ^(15,3)
	Palha	2,0 ^(3,5)	0,1 ^(2,2)	1,9 ^(11,1)	0,5 ^(6,0)	0,5 ^(7,1)	0,2 ^(4,8)
	Sabugo	3,3 ^(5,7)	0,3 ^(3,9)	2,2 ^(12,9)	0,1 ^(1,7)	0,2 ^(3,5)	0,4 ^(7,8)
	Grãos	30,9 ^(53,6)	4,6 ^(70,6)	6,4 ^(37,3)	0,4 ^(5,1)	2,3 ^(32,4)	2,5 ^(47,1)
	Total	57,7 ^(100,0)	6,5 ^(100,0)	17,1 ^(100,0)	7,5 ^(100,0)	7,0 ^(100,0)	5,2 ^(100,0)
25E:75A	Folha	14,7 ^(24,7)	1,2 ^(17,7)	2,7 ^(16,4)	4,9 ^(66,8)	1,8 ^(32,1)	1,6 ^(26,9)
	Colmo	8,5 ^(14,3)	0,4 ^(6,2)	3,7 ^(22,6)	1,5 ^(20,8)	1,4 ^(25,2)	0,9 ^(15,4)
	Palha	1,6 ^(2,7)	0,1 ^(1,8)	1,9 ^(11,4)	0,3 ^(4,2)	0,4 ^(6,4)	0,2 ^(3,4)
	Sabugo	3,3 ^(5,6)	0,3 ^(3,9)	2,1 ^(12,8)	0,1 ^(1,8)	0,2 ^(4,4)	0,4 ^(6,3)
	Grãos	31,3 ^(52,6)	4,7 ^(70,3)	6,0 ^(36,8)	0,5 ^(6,3)	1,8 ^(31,9)	2,8 ^(48,1)
	Total	59,4 ^(100,0)	6,7 ^(100,0)	16,4 ^(100,0)	7,3 ^(100,0)	5,6 ^(100,0)	5,8 ^(100,0)

* Valores entre parênteses referem-se ao percentual do total de cada nutriente contido nas diferentes frações da biomassa do milho em cada tratamento.

Considerando o acúmulo de nutrientes na biomassa total, a magnitude, na maioria dos tratamentos, segue a referida ordem: $N > K > Ca > Mg > P > S$ e $Mn > Fe > Zn > B > Cu$, respectivamente para os macro e micronutrientes. No tratamento monoespecífico de eucalipto (100E), a quantidade estocada de magnésio é superior à de cálcio. Já Kleinpaul (2008) observou essa tendência de maior acúmulo de Mg em relação ao Ca em todos os consórcios analisados, sendo que o Ca também foi inferior ao P. E para os micronutrientes ocorreu uma inversão entre as quantidades de ferro e manganês.

Em função da biomassa acima do solo e do teor de nutrientes nos diferentes compartimentos do milho não diferirem entre os tratamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, a quantidade total de nutrientes acumulada apresentou pouca variação, tendo comportamento semelhante em todos os tipos de sistemas agrossilviculturais avaliados neste estudo.

De modo geral, o compartimento grãos acumula as maiores quantidades de P, N, S, Zn e K, correspondendo aproximadamente a até: 70,7; 56,1; 49,2; 46,2 e 37,3% do armazenamento total nos diferentes tratamentos. Entretanto, o compartimento folhas acumula as maiores quantidades de Mn, Fe, Ca, B, Cu e Mg, correspondendo a até: 86,5; 85,7; 77,0; 55,5; 54,8 e 46,5 % do armazenamento total de cada nutriente nos tratamentos.

Nos estudos realizados por Mafra et al. (1998), com leucena consorciada com milho + feijão, por Marin et al. (2006), em um sistema agrossilvicultural de *Gliricidia sepium* (leguminosa arbórea) com milho, e por Kleinpaul (2008), com plantios de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, os autores constataram que o P é um dos principais elementos com maior percentagem de armazenamento nos grãos e, conseqüentemente, com a maior exportação pela colheita, em relação aos demais nutrientes que podem retornar ao solo através da decomposição dos restos culturais que permanecem sobre a superfície.

Segundo Cantarella e Duarte (2008), embora a composição química e a quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas de milho possam variar com a fertilidade do solo, o padrão sazonal de absorção e a proporção de distribuição dos elementos nas diferentes partes das plantas normalmente permanece inalterado.

Tabela 5.7 – Quantidade de micronutrientes nas frações da biomassa do milho nos diferentes tratamentos.

Trat.	Fração	g ha ⁻¹				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
100E	Folha	16,5 ^{(42,7)*}	17,4 ^(52,2)	378,9 ^(75,9)	456,7 ^(83,9)	26,4 ^(19,4)
	Colmo	3,3 ^(8,7)	4,6 ^(13,8)	21,6 ^(4,3)	35,7 ^(6,6)	22,6 ^(16,6)
	Palha	2,6 ^(6,7)	2,0 ^(6,1)	15,4 ^(3,1)	23,2 ^(4,3)	9,8 ^(7,2)
	Sabugo	1,3 ^(3,4)	2,4 ^(7,3)	13,1 ^(2,6)	6,8 ^(1,3)	14,4 ^(10,6)
	Grãos	14,9 ^(38,6)	6,9 ^(20,6)	70,0 ^(14,0)	22,0 ^(4,0)	62,8 ^(46,2)
	Total	38,6 ^(100,0)	33,3 ^(100,0)	498,9 ^(100,0)	544,4 ^(100,0)	136,0 ^(100,0)
100A	Folha	21,7 ^(53,7)	14,0 ^(49,2)	474,1 ^(80,7)	494,0 ^(83,3)	38,1 ^(27,9)
	Colmo	5,3 ^(13,2)	6,0 ^(21,0)	38,1 ^(6,5)	48,7 ^(8,2)	30,7 ^(22,5)
	Palha	2,1 ^(5,2)	1,5 ^(5,4)	15,6 ^(2,7)	25,1 ^(4,2)	8,3 ^(6,1)
	Sabugo	1,8 ^(4,4)	2,3 ^(8,2)	11,8 ^(2,0)	8,2 ^(1,4)	16,2 ^(11,8)
	Grãos	9,5 ^(23,5)	4,6 ^(16,2)	47,8 ^(8,1)	17,1 ^(2,9)	43,3 ^(31,7)
	Total	40,4 ^(100,0)	28,5 ^(100,0)	587,4 ^(100,0)	593,1 ^(100,0)	136,6 ^(100,0)
50E:50A	Folha	22,2 ^(55,5)	18,6 ^(54,8)	555,1 ^(85,7)	728,1 ^(86,5)	35,4 ^(23,8)
	Colmo	3,0 ^(7,5)	6,5 ^(19,0)	31,1 ^(4,8)	44,2 ^(5,2)	40,4 ^(27,1)
	Palha	3,2 ^(8,1)	2,0 ^(5,9)	14,2 ^(2,2)	39,5 ^(4,7)	11,0 ^(7,4)
	Sabugo	2,2 ^(5,4)	2,9 ^(8,6)	14,6 ^(2,3)	12,0 ^(1,4)	21,7 ^(14,6)
	Grãos	9,4 ^(23,5)	4,0 ^(11,7)	32,5 ^(5,0)	18,0 ^(2,1)	40,4 ^(27,2)
	Total	40,0 ^(100,0)	34,0 ^(100,0)	647,5 ^(100,0)	841,9 ^(100,0)	148,8 ^(100,0)
75E:25A	Folha	17,2 ^(43,0)	13,6 ^(46,0)	279,5 ^(71,8)	333,1 ^(79,2)	26,6 ^(20,0)
	Colmo	3,9 ^(9,9)	6,8 ^(23,1)	24,5 ^(6,3)	32,4 ^(7,7)	34,3 ^(25,9)
	Palha	2,9 ^(7,1)	1,8 ^(6,0)	20,5 ^(5,3)	30,3 ^(7,2)	8,5 ^(6,4)
	Sabugo	1,8 ^(4,4)	2,2 ^(7,3)	14,0 ^(3,6)	5,6 ^(1,3)	12,7 ^(9,6)
	Grãos	14,3 ^(35,6)	5,2 ^(17,6)	51,0 ^(13,1)	19,4 ^(4,6)	50,5 ^(38,1)
	Total	40,1 ^(100,0)	29,5 ^(100,0)	389,4 ^(100,0)	420,7 ^(100,0)	132,5 ^(100,0)
25E:75A	Folha	16,5 ^(44,0)	14,9 ^(48,4)	335,5 ^(74,2)	398,5 ^(80,9)	28,3 ^(19,3)
	Colmo	4,2 ^(11,2)	6,8 ^(22,1)	30,7 ^(6,8)	36,6 ^(7,4)	42,3 ^(28,7)
	Palha	2,9 ^(7,7)	1,9 ^(6,1)	20,5 ^(4,5)	25,5 ^(5,2)	7,9 ^(5,4)
	Sabugo	2,2 ^(6,0)	2,2 ^(7,2)	14,6 ^(3,2)	8,3 ^(1,7)	15,6 ^(10,6)
	Grãos	11,6 ^(31,1)	5,0 ^(16,1)	50,9 ^(11,3)	23,5 ^(4,8)	53,1 ^(36,0)
	Total	37,3 ^(100,0)	30,9 ^(100,0)	452,2 ^(100,0)	492,4 ^(100,0)	147,2 ^(100,0)

* Valores entre parênteses referem-se ao percentual do total de cada nutriente contido nas diferentes frações da biomassa do milho em cada tratamento.

5.3.3 Simulação da intensidade de colheita em sistemas agrossilviculturais

Essa simulação foi realizada aos 6 meses de idade dos plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em consórcio com *Zea mays*. Dessa forma, cabe ressaltar que, para as culturas florestais, a exploração ocorrerá no sétimo ano de

idade, enquanto que a cultura agrícola teve todo o seu ciclo nesse período considerado. Com isso, a simulação da intensidade de colheita será baseada apenas na cultura agrícola.

O sistema de colheita do milho mais utilizado pelos produtores rurais em sistemas agrossilviculturais com espaçamentos reduzidos do componente arbóreo é a retirada da espiga (grãos + sabugo + palha) manualmente. No monocultivo, devido à possibilidade de colheita mecanizada, a exploração se dá apenas para o compartimento grãos. Na Figura 5.3, verificam-se a influência de diferentes tipos de colheita da biomassa do milho nas porcentagens de nutrientes exportados do sítio.

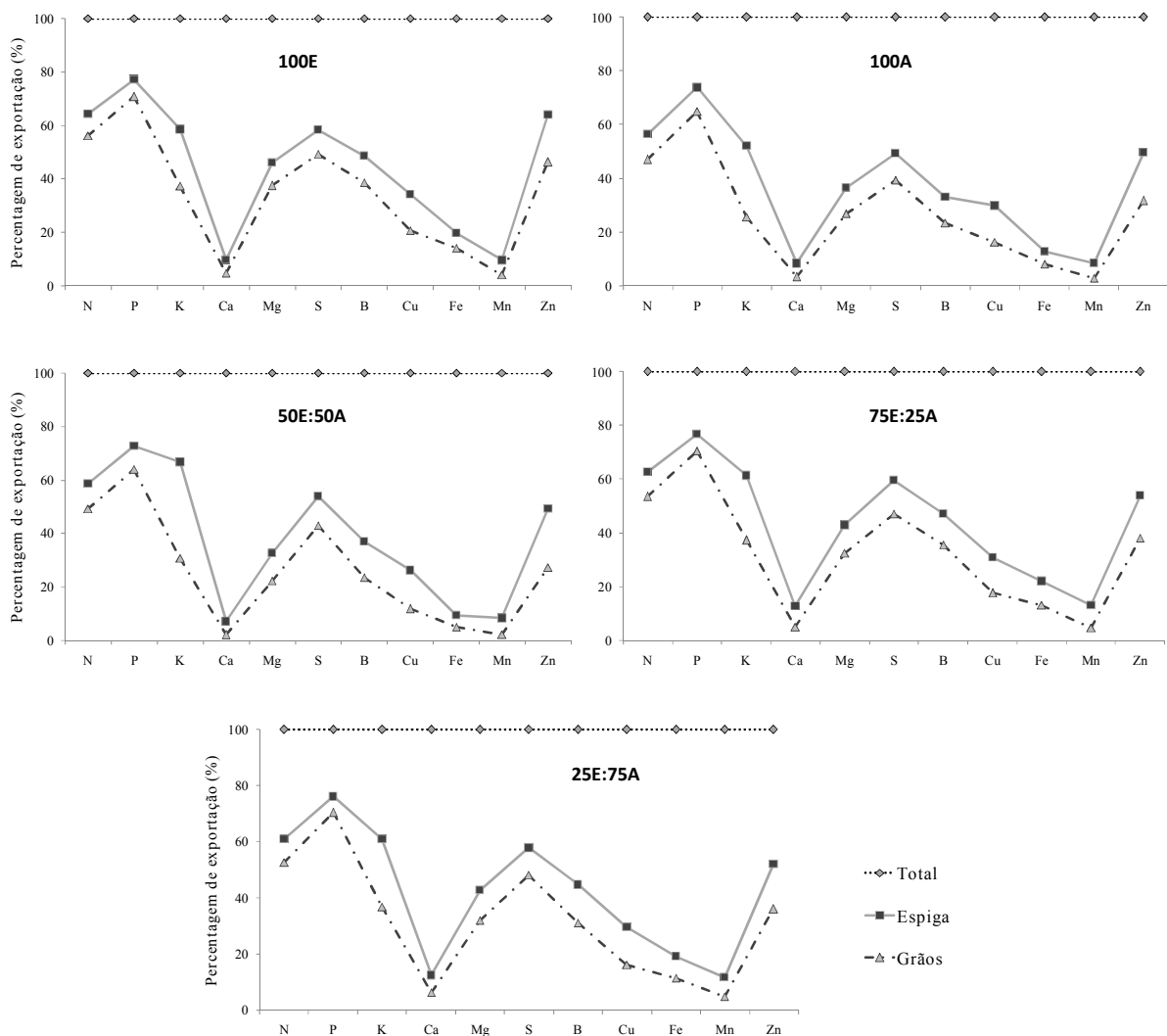


Figura 5.3 – Percentagem de exportação de nutrientes em diferentes intensidades de colheita do milho em sistema agrossilvicultural.

Considerando o sistema de colheita grãos + sabugo + palha (espiga), a remoção de nutrientes chegaria a uma porcentagem de 75,3% do P; 60,6% do N; 59,9% do K; 55,8 do S; 40,2% de Mg e 10,1 do Ca, da quantidade total de macronutrientes presentes na biomassa, e 53,8% do Zn; 42,1% do B; 30,1% de Cu; 16,6% do Fe e 10,2% do Mn, em relação à quantidade total de micronutrientes acumulada na biomassa.

Dessa forma, os nutrientes que mais sofreriam remoção seriam o P, N, K, S e Zn, pois mais de 50% de sua quantidade acumulada na biomassa acima do solo seria retirada dos sistemas agrossilviculturais. Os demais nutrientes apresentaram remoções abaixo de 50%, seguindo a referida magnitude: B > Mg > Cu > Fe > Mn > Ca. Entretanto, se fosse possível remover apenas o compartimento grãos e deixar a palha e o sabugo no sistema, a porcentagem de remoção para os macronutrientes chegaria a 68,1% do P; 51,7% do N; 45,3% do S; 33,5% do K; 30,2% do Mg e 4,3% do Ca. Já para os micronutrientes chegaria a 35,8% do Zn; 30,5% do B; 16,5% do Cu; 10,3% do Fe e 3,7 do Mn, em relação ao total contido na biomassa.

Outros autores, simulando apenas a colheita dos grãos, encontraram uma exportação relativa de 78 e 87% do P; 67 e 59% do N; 52 e 56% do Zn; 33 e 42% do S; 29 e 37% do Mg; 15 e 19% do B; 14 e 29% do K e 2 e 14% do Ca, respectivamente, por Andrade et al. (1975a, b) e Hiroce et al. (1989).

Assim, deve-se evitar a remoção total dos resíduos durante a colheita do milho, contribuindo com a sustentabilidade ambiental, através do incremento da disponibilidade de nutrientes após a decomposição desse material e conseqüente diminuição do uso de adubação, para reposição nutricional do sítio agrossilvicultural.

Verifica-se então, que o mais correto ecologicamente, em relação à nutrição agrossilvicultural, seria apenas a retirada dos grãos. Mas embora disso, mais da metade da quantidade total de N e P acumulados na biomassa seca da parte aérea das plantas de milho encontram-se nos grãos. Mesmo com a manutenção da palhada nos sistemas agrossilviculturais, faz-se necessária a reposição destes nutrientes em cultivos seguintes, em decorrência da grande quantidade que são exportados pelos grãos. Necessita-se de estudos mais completos, para avaliar os possíveis danos causados pela retirada de toda a palhada, envolvendo processos de ciclagem de nutrientes, bem como o monitoramento das características do solo antes e após a colheita agrícola.

5.4 Conclusões

Com base na avaliação da biomassa e dos nutrientes das espécies florestais e agrícolas em plantio misto e em monocultivo, pode-se inferir que:

- A alocação de biomassa total acima do solo pelo *Eucalyptus urograndis* e pela *Acacia mearnsii*, tanto em monocultivo como em plantio misto, não diferiu significativamente ($p > 0,05$) em todas as idades avaliadas;

- Quando levada em consideração a compartimentação da biomassa, verificou-se interação competitiva interespecífica do eucalipto sobre a acácia-negra, ocasionando a redução da formação de biomassa de copa;

- A produção total de biomassa do milho (*Zea mays*) consorciado com plantios monoespecíficos e mistos das espécies florestais não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos testados;

- Com exceção do Ca, que esteve mais concentrado na fração casca, os demais nutrientes do *Eucalyptus urograndis*, tanto em monocultivo como em plantio misto, possuíram maior concentração nas folhas. Já na *Acacia mearnsii*, todos os nutrientes apresentaram concentração significativamente maior ($p < 0,05$) nas folhas;

- O componente grãos possui as maiores concentrações de nitrogênio e fósforo, já a palha e o sabugo apresentam as maiores concentrações de potássio e o componente folha possui as maiores concentrações dos demais nutrientes;

- Devido à grande exportação de nutrientes pela colheita do milho, deve-se, mesmo com a manutenção da palhada nos sistemas agrossilviculturais, fazer reposição nutricional principalmente de P, N e S em cultivos seguintes, em decorrência da grande quantidade que são exportados pelos grãos, que chega a 68,1; 51,7 e 45,3%, respectivamente, em relação ao total acumulado na biomassa.

5.5 Referências bibliográficas

ANDRADE, A. G. et al. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.) I. Acumulação de macronutrientes. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, SP, v. 32, p. 115-149, 1975a.

_____ et al. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays*

L.) II. Acumulação de micronutrientes. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, SP, v. 32, p. 151-171, 1975b.

BELLOTE, A. F. J. et al. Extração e exportação de nutriente pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: I – macronutrientes. **IPEF**, Piracicaba, SP, n. 20, p. 27-45, jan./jun. 1980.

BRUN, E. J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS**. 2004. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Concentração e redistribuição de nutrientes nas folhas e no folheto em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. no Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 1, p. 19-24, jan./jun. 1999.

CANTARELLA, H.; DUARTE, A. P. Manejo da fertilidade do solo para a cultura do milho. In: Galvão, J. C. C.; Miranda, G. V. (Org.) **Tecnologias de produção do milho**. Viçosa, MG: UFV. 2008. p.139-182.

COBB, W. R. et al. Aboveground biomass and nitrogen in four short-rotation woody crop species growing with different water and nutrient availabilities. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 4032–4039, June 2008.

COELHO, S. R. F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas nativas**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”/Universidade São Paulo, Piracicaba, SP, 2006.

COUTO, L. et al. Produção e alocação de biomassa em um sistema agrossilvipastoril com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. **Biomassa & Energia**, Lavras, MG, v. 1, n. 4, p. 321-334, out./dez. 2004.

DUBOIS, J. **Importância de sistemas de produção agroflorestal para a Amazônia**. Belém: IICA-Trópicos, 1979. 18 p.

EMATER-RS/ASCAR. **Panorama do milho gaúcho: Safra 2007/2008**. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2008/reuniao_milho/pdf/Palestras/Claudio%20Doro/claudio_doro.pdf> Acesso em: 20 nov. 2009.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**.

Tradução Maria Edna Tenório Nunes. Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FERREIRA, C. A. et al. Pesquisas sobre nutrição de pinus no Sul do Brasil. **Revista da madeira**, Curitiba, PR, ano 14, n. 83, ago. 2004.

FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal 1**. 2.ed. São Paulo: EPU, 1985. 362 p.

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; KHANNA, P. K. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, n. 1/2, p. 81–95, may 2004.

FREITAS, R. A. **Estudo da biomassa e do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden plantado em solo sujeito à arenização no município de Alegrete – RS**. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2000.

GOLLEY, F.B. et al. **Ciclagem de minerais em um ecossistema de Floresta Tropical Úmida**. Tradução de Eurípedes Malavolta - São Paulo: EPU, 1975. 256p.

HAAG, H. P. **Ciclagem de nutrientes em florestas tropicais**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 144 p.

HANWAY, J. L. Corn growth and composition in relation to soil fertility. II Uptake of N, P and K and their distribution in different plant parts during the growing season. **Agronomy journal**, Madison, v. 54, n. 3, p. 217-222, may/june 1962.

HIROCE, R.; FURLANI, A. M. C.; LIMA, M. **Extração de nutrientes na colheita por populações e híbridos de milho**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1989. 24 p. (Boletim científico, 17).

KHANNA, P. K. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Forest Ecology and Management**, v. Amsterdam, v. 94, n. 1/3, p. 105–113, june 1997.

KLEINPAUL, I. S. **Plantio misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agroflorestal**. Santa Maria: UFSM, 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.

LA TORRACA, S. M. et al. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em um latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, SP, n.

27, p. 41-47, ago. 1984.

LACLAU, J. P. et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil 1. Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 3905–3917, june 2008.

MAFRA, A. L. et al. Adição de nutrientes ao solo em sistema agroflorestal do tipo “cultivo em aléias” e em cerrado na região de Botucatu, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 54, p. 41-54, dez. 1998.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons e nutrição mineral. In: Ferri, M.G. **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: EPU, 1985. p. 77-116.

_____.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação brasileira para a pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARIN, A. M. P.; MENEZES, E. D. S.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no Agreste Paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 555-564, maio/jun. 2006.

MARQUES, L. C. T. **Comportamento inicial de paricá, tatajuba e eucalipto, em plantio consorciado com milho e capim-marandu, em Paragominas, Pará**. 1990. 73 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1990.

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: Silva, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de tecnologia. 1999. p. 171-224.

MONIZ, C. V. D. **Comportamento inicial do eucalipto (*Eucalyptus torelliana* F. Muell), em plantio consorciado com milho (*Zea mays* L.) no Vale do Rio Doce, em Minas Gerais**. 1987, 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1987.

NAMBIER, E. K. S.; FIFE, D. N. Growth and nutrient retranslocation in needles of *Radiata Pine* in relation to nitrogen supply. **Annals of Botany**, London, v. 60, n. 2, p. 147-156, aug. 1987.

PEREIRA, J. C. et al. Estimativa de conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Acacia*

mearnsii no Rio Grande do Sul – Brasil, **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 24, n. 2, p. 193-199, abr./jun. 2000.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F.; KIMMINS, J. P. Acúmulo de nutrientes em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 11, n. 1, p. 1-15, jan./jun. 1987.

REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 9, n. 2, p. 149-162, jul./dez. 1985.

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

SAYRE, J. D. Mineral accumulation in corn. **Plant physiology**, Washington, v. 23, n. 3, p. 267-281, 1948.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell.** 1992, 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1992.

_____ et al. **Aspectos ecológicos de um Sistema Agroflorestal no sul do Brasil.** Santa Maria, 2007. 41 p. (Relatório de Pesquisa).

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

_____; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus torelliana*, plantados em Anhembi - SP. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 3, n. 1, p. 21-34, jan./dez. 1993.

SILVA, F. de A. S. **ASSISTAT versão 7.5 beta.** DEAG - CTRN - Universidade Federal de Campina Grande Campus de Campina Grande-PB, 2008.

TEDESCO, M. J. A. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** Porto Alegre, Departamento de Solos: UFRGS. 118 p. (Boletim Técnico). 1995.

TEIXEIRA, J. L. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes de duas espécies de eucalipto em diferentes ambientes do Médio Rio Doce, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 13, n. 1, p. 34-50, jan./jun. 1989.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia-negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 225-231, jan./mar. 2001.

VIERA, M. **Avaliação da biomassa e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. e *Eucalyptus urograndis* no município de Pinheiro Machado, RS**. Relatório de estágio supervisionado em Engenharia Florestal, UFSM. 2007. 53 p.

WITSCHORECK, R. **Biomassa e nutrientes no corte raso de um povoamento de *Pinus taeda* L. de 17 anos de idade no município de Cambará do Sul – RS**. Santa Maria: UFSM, 2008. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2008.

ZIMMERMANN, F.J.P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402 p.

6 SISTEMA RADICULAR DE UM PLANTIO MISTO EM SISTEMA AGROSSILVICULTURAL

Resumo

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a ocupação do solo pelo sistema radicular do *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii* em povoamentos monoespecíficos e mistos e a nodulação da *Acacia mearnsii* nesses sistemas, no município de Bagé-RS. Para a avaliação do sistema radicular, analisaram-se os seguintes tratamentos: 100E; 100A; 50E:50A (E) e 50E:50A (A). As avaliações do crescimento radicular foram realizadas aos 8 e 18 meses de idade do povoamento. A amostragem foi realizada com tubo extrator de formato cilíndrico com 7,0 cm de diâmetro. Para cada ponto de amostragem, coletaram-se amostras em quatro profundidades: 0 – 5; 5 – 10; 10 – 20 e 20 – 30 cm. Nessas amostras, foram determinados o comprimento e a biomassa de raízes finas ($\leq 2,0\text{mm}$) e nódulos, este último apenas aos 18 meses de idade do povoamento. A densidade de raízes finas aos 8 meses de idade, tanto para o comprimento como para a biomassa do sistema radicular do *Eucalyptus grandis* e da *Acacia mearnsii* em monocultivo e em plantio misto, possui o mesmo comportamento para a ocupação das diferentes camadas do solo, atingindo uma projeção de 120 cm de distância do tronco da árvore. Já aos 18 meses de idade, foi superior ($p < 0,05$) no plantio monoespecífico de *Acacia mearnsii* em relação aos povoamentos monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis*. Mas, independentemente do sistema de cultivo, a projeção do sistema radicular atingiu toda a área útil de cada árvore. Não se observaram interações interespecíficas ou intraespecíficas entre os sistemas radiculares do eucalipto e da acácia-negra, até os 18 meses de idade. Devido à grande variabilidade, a biomassa de nódulos, apesar de ser muito superior no plantio monoespecífico de *Acacia mearnsii* (100A) em comparação com o plantio misto (50E:50A-A), apresentou diferenças não significativas ($p > 0,05$). A maior densidade de raízes e nódulos encontra-se na camada de 5 a 10 cm de profundidade, nas proximidades do tronco da árvore e na linha de plantio, seguida pela diagonal e entrelinha de plantio. A competição por nutrientes pode ser considerada mínima entre o milho e as espécies florestais, devido à pequena projeção do sistema radicular das árvores durante o cultivo agrícola.

Palavras-chave: Crescimento radicular, projeção de raízes finas, interação entre raízes.

MIXED STAND ROOT SYSTEM IN AN AGROSSILVICULTURAL SYSTEM

Abstract

This study had as objective to evaluate soil occupation through root system of *Eucalyptus urograndis* and *Acacia mearnsii* in monospecific and mixed stands and also *Acacia mearnsii* nodulation in these agroforestry systems, in Bagé-RS, and also how ecological interactions between these two species can vary along the time. For root system evaluation, the following treatments were analyzed: 100E; 100A; 50E:50A (E) and 50E:50A (A). Evaluations for root system growth were done at 8 and 18 months stand age. Sampling was done with a cylindrical extractor tube ($d = 7.0$ cm). For each sampling point, samples were collected in four depths: 0 – 5; 5 – 10; 10 – 20 and 20 – 30 cm. In these samples length and biomass of fine roots (≤ 2.0 mm) and nodules were determined, this only 18 months stand age. Fine roots density at 8 months stand age, both for length and root system biomass of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mearnsii* in monoculture and mixed stands, they show the same behavior for soil layers occupation, reaching a projection of 120 cm away from the stem. Although at 18 months it was higher in monospecific stand of *Acacia mearnsii* when compared to monospecific and mixed stand of *Eucalyptus urograndis*, but independent on the kind of crop root system projection reached the completely utile area from each tree. Interspecific interactions and intraspecific interactions were not observed between root systems of eucalyptus and black-wattle, until 18 months. Due to the great variability, nodules biomass, despite being much higher in *Acacia mearnsii* monospecific stand (100A) than in mixed stand (50E:50A-A), differences were not significantly ($p > 0.05$). Highest roots and nodules density is located on the layer 5 to 10 cm depth, close to tree stem and planting row followed by diagonal and planting inter-row. Competition for nutrients can be considered as minimum between maize and forest species, due to tree root system short projection during crop cultivation.

Key-words: Root growth, fine roots projection, roots interaction.

6.1 Introdução

O sistema radicular é um dos principais componentes do ecossistema florestal, desempenhando processos vitais para o desenvolvimento das plantas, tais como absorção de água e nutrientes do solo, sustentação da estrutura arbórea e estocagem de nutrientes e carbono (QING-CHENG, 2002; AL AFAS et al., 2008).

O conhecimento das características do sistema radicular das árvores (quantidade, distribuição e interação com o solo), principalmente das raízes finas, é fundamental para a definição e tomada de decisões sobre práticas de preparo do solo e fertilização (local e época de aplicação). Ao lado dessas aplicações práticas, o conhecimento da configuração do sistema radicular é imprescindível como fonte de subsídio para explicar processos ecofisiológicos básicos, principalmente aqueles relacionados com a nutrição mineral e o balanço hídrico das árvores (MELLO et al., 1998; GONÇALVES; MELLO, 2004).

Em sistemas agrossilviculturais a competição entre os sistemas radiculares das espécies envolvidas pode ser significativo (DHYANI; TRIPATHI, 2000). Existem diversos estudos sobre a importância das raízes finas na absorção de água e nutrientes para as plantas e sobre o efeito delas na competição entre árvores e plantas agrícolas em consórcios. Embora já tenham sido ou estejam sendo realizados estudos sobre a quantificação da biomassa e o comprimento de raízes finas no solo em sistemas agrossilviculturais (HAUSER, 1993; TORQUEBIAU; KWESIGA, 1996), conhece-se muito pouco sobre a sua ocupação do solo (DHYANI; TRIPATHI, 2000) e a possibilidade de competição interespecífica (SCHMID, 2002). Por esse motivo, o conhecimento da distribuição das raízes no perfil do solo é essencial para entender o nicho ecológico das espécies arbóreas e culturas agrícolas e realizar possíveis interferências silviculturais nos sistemas agrossilviculturais (SCHROTH, 1995; DHYANI; TRIPATHI, 2000).

Nesses sistemas, o crescimento das raízes pode ocorrer independentemente ou não da parte aérea. Os fatores determinantes do crescimento radicular são complexos e envolvem o estado nutricional, a disponibilidade de oxigênio no solo, os hormônios de crescimento, suprimentos de carboidratos (GONÇALVES; MELLO, 2004) e, em povoamentos jovens, é fortemente influenciada pelo tipo de preparo de solo, forma de aplicação de fertilizantes, tipo e frequências de capinas, espaçamento de plantio, dentre outros (LELES, 1995; SCHENK, 2006; BIAO et al., 2007).

Segundo Gonçalves e Mello (2004) e Laclau et al. (2004), o sistema radicular em solos com baixa disponibilidade de água e nutrientes tende a produzir raízes mais longas, e se as condições hídricas e nutricionais do solo são adequadas, o sistema radicular tende a ser mais ramificado, com muitas raízes curtas, podendo, dessa forma, variar consideravelmente de um ano para o outro. Para a avaliação da distribuição do sistema radicular no perfil do solo, leva-se em consideração o peso de raízes finas (parâmetro indicado para avaliar o efeito das condições ambientais sobre o crescimento das raízes) e o comprimento das raízes (parâmetro indicado para avaliar a absorção de água e nutrientes).

Bauhus et al. (2000), analisando o sistema radicular de plantios consorciados e puros de *Eucalyptus globulus* e *Acacia mearnsii*, não encontraram sinergismo para a biomassa e o comprimento de raízes finas entre as duas espécies no consórcio, indicando que, com isso, a acácia poderia ter forte competição por recursos do solo com a outra espécie consorciada. Mas, segundo Coêlho (2006), não se pode estabelecer se o aumento da densidade de raízes finas de uma espécie em plantio consorciado ou das duas espécies é resultado de uma maior capacidade competitiva de uma delas ou se é resultado da redução de algum recurso.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a ocupação do solo pelo sistema radicular do *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii* em povoamentos monoespecíficos e mistos, bem como a nodulação da *Acacia mearnsii* nesses sistemas.

6.2 Material e métodos

6.2.1 Amostragem do sistema radicular

A amostragem do sistema radicular (raízes finas – diâmetro $\leq 2,0$ mm) foi realizada aos 8 e 18 meses de idade dos plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*. Avaliaram-se os tratamentos 100E, 100A e 50E:50A.

A definição das árvores para a amostragem de suas raízes teve como base o diâmetro médio à altura do peito. Depois de definidas as árvores, foi aplicado herbicida com princípio ativo Glifosato para a dessecação das plantas daninhas que se encontravam presentes na área útil de coleta das raízes. Esse controle químico foi realizado um mês antes das coletas, para que não houvesse a presença de raízes vivas de outras espécies a não ser do *Eucalyptus*

urograndis e da *Acacia mearnsii*, pois, ao contrário, isso poderia dificultar a separação das raízes durante o processo de retirada do solo.

Os pontos de amostragem, no entorno de cada árvore, foram identificados com algarismos ordinais (1 a 38). A distribuição desses pontos de amostragem foi realizada sistematicamente através da alocação de oito transectos (2 na entrelinha de plantio, 2 na linha e 4 na diagonal), a partir do centro do tronco da árvore em relação ao nível médio do solo. A partir de 25 cm de distância do tronco da árvore e de forma equidistante radialmente, demarcaram-se os pontos de coleta (no sentido horário) até abranger toda a área útil de cada árvore avaliada (4,0 m x 1,5 m). Essa metodologia de coleta de raízes foi adaptada da descrita por Böhm (1979).

Os transectos da entrelinha receberam a numeração 3, 7, 11, 15, 19, 23, 26, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 e 38; os da diagonal receberam a numeração 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 25, 27, 28 e 30 e os da linha receberam a numeração 1, 5, 9, 13, 17 e 21. A amostragem em cada ponto de coleta foi fracionada em subpontos amostrais originados das diferentes profundidades analisadas (0 – 5; 5 – 10; 10 – 20 e 20 – 30 cm). A coleta foi realizada com o auxílio de um tubo estrator cilíndrico de aço com 7,0 cm de diâmetro interno (Apêndice D).

Todo esse procedimento de amostragem de raízes finas em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* aos 6 e 18 meses de idade pode ser visualizado na Figura 6.1.

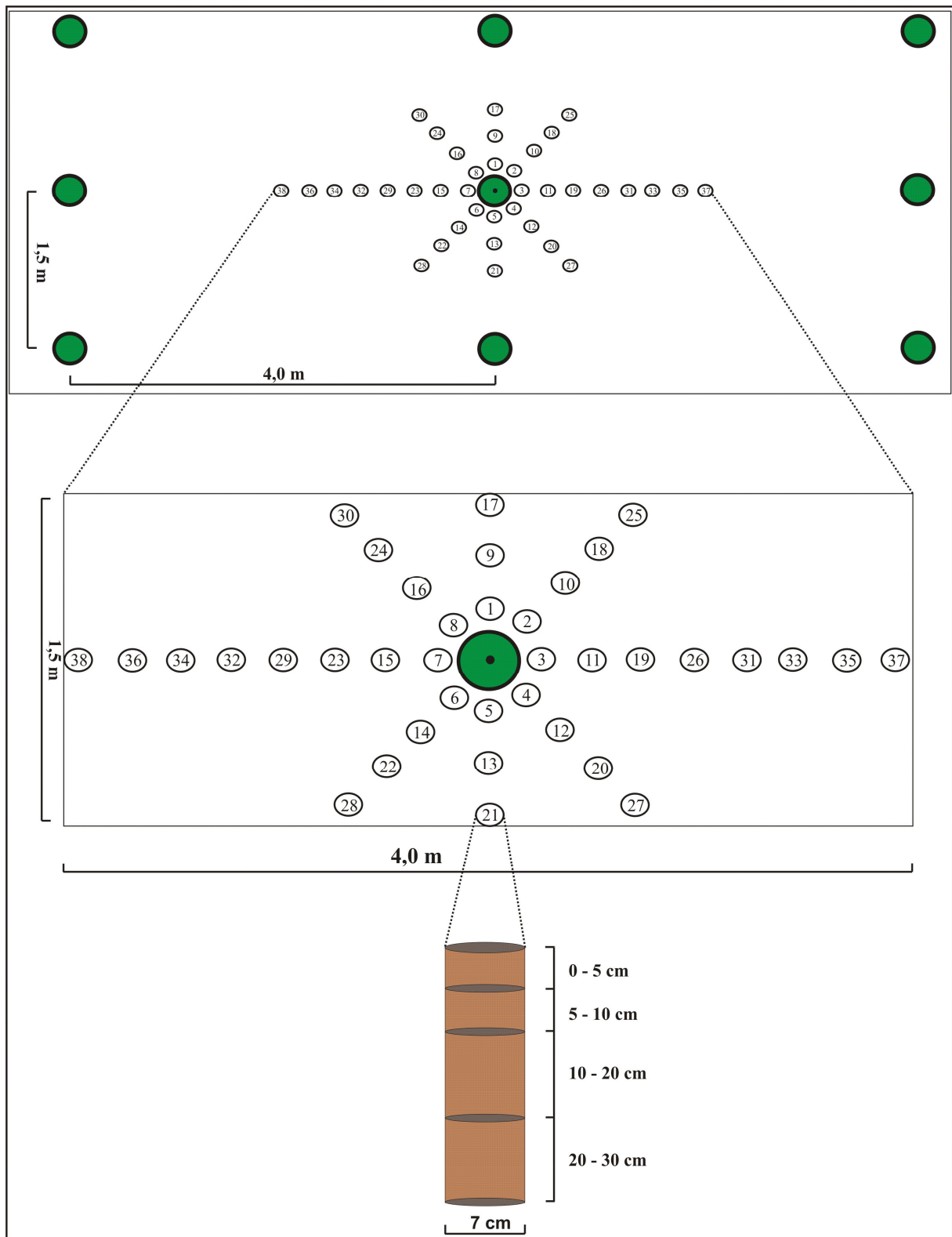


Figura 6.1 – Distribuição dos pontos de amostragem de raízes finas em plantios mono específicos e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, aos 6 e 18 meses de idade.

Após as coletas, por meio da lavagem com água corrente em um conjunto de peneiras de 2,0 e 0,34 mm de malha, separaram-se as raízes finas do solo. Todas as raízes finas, vivas

ou mortas, foram postas em frascos plásticos com solução de água destilada + 12% de álcool (92,8° INPM) e armazenadas em ambientes refrigerados (geladeiras) (Apêndice E), permitindo que as características originais das raízes fossem conservadas.

Numa etapa seguinte, as raízes finas foram retiradas dos recipientes e postas sobre papel absorvente (papel toalha) para ser retirado o excesso de umidade. Na sequência, as raízes vivas foram separadas das raízes mortas, das raízes vivas de outras plantas e das impurezas (fragmentos orgânicos) com o auxílio de pinças. A separação das raízes vivas das mortas foi feita visualmente com base nas características morfológicas, coloração e flexibilidade.

No plantio misto, para facilitar a separação das raízes finas do *Eucalyptus urograndis* das raízes finas da *Acacia mearnsii*, utilizou-se como referência raízes coletadas em plantios monoespecíficos de cada espécie. Além do mais, a coloração das raízes das espécies era distinta: o eucalipto apresentava raízes de coloração marrom-clara e a acácia-negra de coloração amarela-clara.

Posteriormente, as raízes foram colocadas sobre uma superfície de cor branca (folhas de papel A4) e fotografadas com o auxílio de câmera digital (Kodak C713, 7.0 Megapixels), apoiada em uma estrutura metálica com altura fixa de 0,5 m. Cada imagem digital obtida foi analisada com o auxílio do *software* UTHSCSA, Image Tool for Windows version 3.00[©] (2002), que determina o perímetro das raízes (Apêndice F).

Em seguida, as raízes foram postas para secagem em estufa de circulação e renovação de ar (a 70 °C) até atingir peso seco constante, sendo, então, determinada a massa seca em balança analítica (com precisão de 0,0001g).

6.2.2 Amostragem de nódulos

A determinação dos nódulos foi realizada concomitantemente aos processos de avaliação das raízes finas aos 18 meses de idade do plantio monoespecífico e misto de *Acacia mearnsii*. A identificação dos nódulos foi visual, sendo que o processo de separação junto às raízes finas foi realizado manualmente, com utilização de pinças. Para a determinação da sua biomassa, os mesmos foram postos para secagem em estufa de circulação e renovação de ar (70 °C) até atingir peso seco constante e pesados em balança analítica com precisão de 0,0001g.

6.2.3 Apresentação dos dados e análise estatística

Com base nos valores de comprimento e biomassa de raízes finas e através do software SURFER 8.0, pôde-se elaborar cartogramas demonstrando a ocupação do solo pelo sistema radicular em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, aos 8 e 18 meses de idade. Esse procedimento também possibilitou a demonstração da distribuição da biomassa de nódulos no perfil do solo. Os cartogramas apresentam a distribuição das raízes finas no sentido da entrelinha, na linha e diagonal de plantio.

Aplicou-se o teste de homogeneidade de variâncias de Bartlett e de normalidade dos erros de Lilliefors nos resultados para a verificação de sua validação pelos pressupostos da análise de variância. Resultados que não atenderam aos pressupostos foram transformados aplicando a raiz quadrada e/ou a inversa da raiz quadrada. Na sequência prosseguiu-se a análise. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico ASSISTAT versão 7.5 beta (SILVA, 2008), ao nível de 5% de probabilidade de erro. Para a separação dos contrastes de médias utilizou-se o teste de Tukey (ZIMMERMANN, 2004).

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Desenvolvimento inicial de raízes finas

6.3.1.1 Comprimento de raízes finas

Pode-se verificar, através da Figura 6.2, a distribuição da densidade de raízes finas ($DRF \leq 2 \text{ mm} - \text{cm dm}^{-3}$), aos 8 e 18 meses de idade, em plantio monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, em diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm), em função da distância em relação ao tronco da árvore.

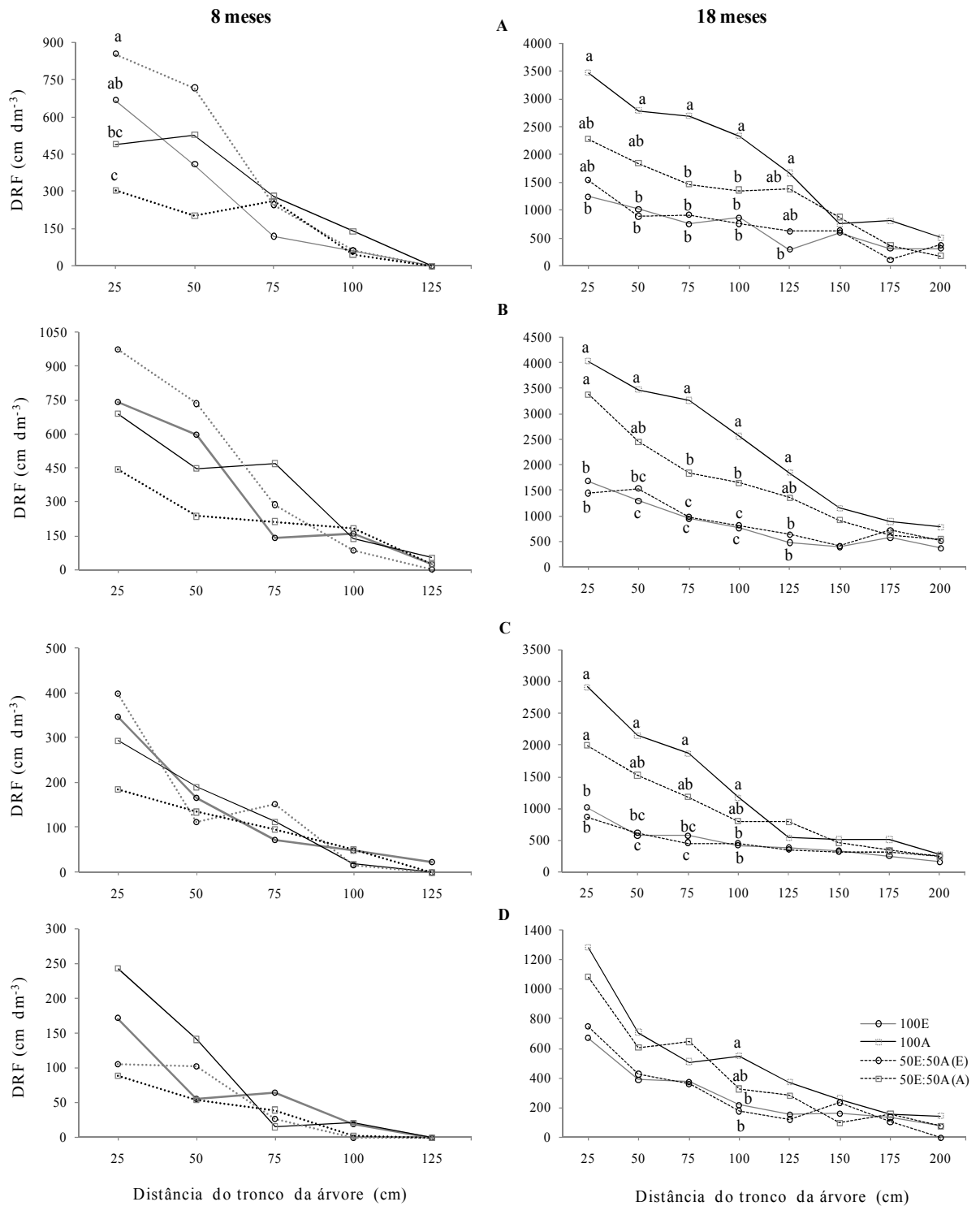


Figura 6.2 – Densidade de raízes finas (DRF < 2 mm), aos 8 e 18 meses em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, nas diferentes profundidades (A. 0-5; B. 5-10; C. 10-20 e D. 20-30 cm), em função da distância em relação ao tronco da árvore. (A existência de letras indica que há diferença significativa entre tratamentos pelo Teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância).

Aos 8 meses de idade dos povoamentos, o comprimento de raízes finas (cm dm^{-3}), diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) apenas na camada superficial do solo (0 a 5 cm de profundidade), a 25 cm de distância do tronco da árvore, sendo maior para o plantio misto de *Eucalyptus urograndis* em relação ao monocultivo e plantio misto da *Acacia mearnsii*. Nessa idade, não havia competição entre os sistemas radiculares das espécies, pois o sistema radicular do eucalipto e da acácia atingia, no máximo, uma distância de 125 cm do tronco. Com isso, o desenvolvimento inicial (até os 8 meses de idade) do sistema radicular do *Eucalyptus grandis* e da *Acacia mearnsii* possui o mesmo comportamento para a ocupação das diferentes camadas do solo. Silva et al. (2009) salientam que, nessa idade, seria muito prematura qualquer afirmação sobre diferenças entre as espécies quanto ao desenvolvimento radicular, pois os recursos necessários (água, nutrientes e energia solar) para o desenvolvimento das árvores ainda não seriam escassos devido à presença de uma espécie concorrente.

Já após 10 meses da primeira avaliação do sistema radicular, 18 meses de idade dos povoamentos, ocorreu um considerável aumento da densidade de raízes finas (cm dm^{-3}) em todas as camadas de solo avaliadas. Esse efeito, em parte, além do crescimento natural das espécies, pode estar associado à baixa precipitação pluviométrica ocorrida no período, principalmente nos meses que antecederam a última coleta, sendo que, em abril de 2009, a precipitação não chegou a 2 mm, diminuindo sensivelmente a umidade do solo e fazendo com que o sistema radicular das espécies atingissem maiores distâncias e profundidades de solo em busca de água, devido ao estresse hídrico. A influência da umidade do solo no desenvolvimento do sistema radicular foi verificada por Mello (2004) para *Eucalyptus grandis* nas camadas mais superficiais do solo e por Coêlho (2006) em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e leguminosas arbóreas. Segundo Nambiar (1983), o crescimento de raízes está intimamente relacionado com o teor de água no solo.

O plantio monoespecífico de *Acacia mearnsii* apresentou maior densidade de raízes finas, principalmente até a profundidade de 20 cm, sendo superior ($p < 0,05$) ao povoamento monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* até a uma distância de 125 cm, para os primeiros 10 cm de profundidade, e 100 cm na camada de 10 a 20 cm de profundidade, e na distância de 100 cm para a camada de 20 a 30 cm, em relação ao tronco das árvores. Entre o monocultivo e o plantio misto de *Acacia mearnsii*, ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas a 75 e 100 cm de distância dos troncos das árvores nos dez primeiros centímetros de profundidade. Em relação ao monocultivo e o plantio misto de *Eucalyptus urograndis*, não ocorrem diferenças significativas ($p > 0,05$) em nenhuma profundidade para as diferentes

distâncias do tronco das árvores.

Dessa forma, pode-se verificar que não ocorreram interações negativas ou positivas entre os sistemas radiculares do eucalipto e da acácia-negra, até os 18 meses de idade, visto que as plantas em cultivo misto não apresentaram diferenças significativas em crescimento de raízes finas em relação ao seu cultivo monoespecífico. Coêlho (2006) observou o comportamento diferente ao verificado neste estudo em plantios consorciados de *Eucalyptus grandis* e leguminosas arbóreas, em que a densidade de raízes finas de todas as leguminosas foi sempre menor em relação ao eucalipto nas camadas superiores do solo, sugerindo uma forte competição intraespecífica nessa camada. Essa autora salienta que a diferença na distribuição de raízes entre as espécies florestais poderia resultar principalmente das diferenças de competitividade entre as espécies para obter recursos naturais do solo.

6.3.1.2 Biomassa de raízes finas

Com base na Figura 6.3, pode-se verificar a distribuição da densidade de raízes finas ($DRF < 2 \text{ mm} - \text{g dm}^{-3}$), aos 8 e 18 meses, em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, em diferentes profundidades (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm), em função da distância em relação ao tronco da árvore. Aos 8 meses de idade dos povoamentos, a biomassa de raízes finas (g dm^{-3}) não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) em função da profundidade para nenhuma distância em relação ao tronco da árvore entre os plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*. Com isso, como observado com o comprimento de raízes finas, o desenvolvimento inicial em biomassa (até os 8 meses de idade) do sistema radicular do *Eucalyptus urograndis* e da *Acacia mearnsii* possui o mesmo comportamento para a ocupação das diferentes camadas do solo.

Com o desenvolvimento dos povoamentos, aos 18 meses de idade, o comportamento da biomassa de raízes finas foi semelhante ao seu comprimento, mas as diferenças significativas ($p < 0,05$) entre tratamentos ocorreram até no máximo 100 cm de distância do tronco das árvores. Já para o comprimento de raízes finas, as diferenças ocorreram a até 125 cm de distância. Isso pode ser explicado pela tendência de um maior acúmulo de carbono na biomassa subterrânea, ocasionando um aumento da massa de raízes finas. Segundo Nambiar (1983), com o início do fechamento do dossel em plantios com espécies de rápido crescimento, haveria um incremento na biomassa de raízes sem que houvesse alteração em seu comprimento.

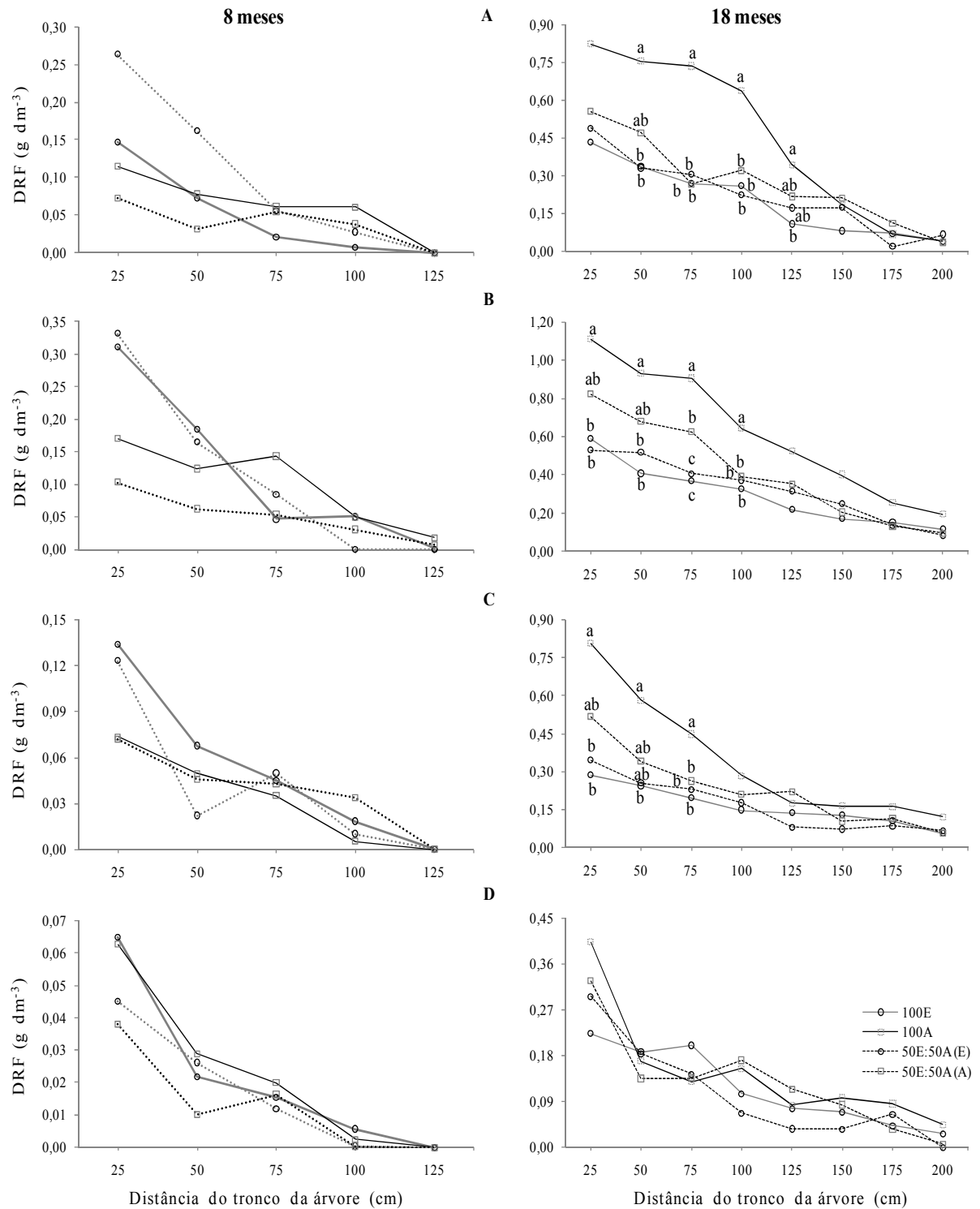


Figura 6.3 – Densidade de raízes finas (DRF < 2 mm), aos 8 e 18 meses, em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, nas diferentes profundidades (A. 0-5; B. 5-10; C. 10-20 e D. 20-30 cm), em função da distância em relação ao tronco da árvore. (A existência de letras indica que há diferença significativa entre tratamentos pelo Teste de Tukey ao nível de 0,05 de significância).

O plantio monoespecífico de *Acacia mearnsii* apresentou maior densidade de raízes finas na camada superficial de 0 a 20 cm, sendo superior ($p < 0,05$) ao povoamento monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* até a uma distância de 100 cm, para os primeiros 10 cm de profundidade, e 75 cm, na camada de 10 a 20 cm de profundidade, em relação ao tronco das árvores. Entre o monocultivo e o plantio misto de *Acacia mearnsii*, ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas a 75 e 100 cm de distância dos troncos das árvores nos dez primeiros centímetros e a 75 cm de distância do tronco na camada de 10 a 20 cm de profundidade. Em relação ao monocultivo e ao plantio misto de *Eucalyptus urograndis*, não ocorrem diferenças significativas ($p > 0,05$) em nenhuma profundidade para as diferentes distâncias do tronco das árvores.

6.1.1.3 Biomassa de nódulos

A distribuição da biomassa de nódulos (Figura 6.4) foi bastante variável. Para as árvores de *Acacia mearnsii* em monocultivo ocorreu uma tendência de maior acúmulo de massa seca de nódulos nas proximidades do tronco. Já no plantio misto, ocorreu uma tendência inversa, em que a maior biomassa de nódulos estava presente em locais mais distantes do tronco das árvores.

Apesar de a biomassa de nódulos ser muito superior no plantio monoespecífico de *Acacia mearnsii* (100A) em comparação com o plantio misto (50E:50A-A), as diferenças não foram significativas ($p > 0,05$) por causa da alta variabilidade espacial da presença de nódulos. Essa mesma situação foi verificada por Silva (2007) em monocultivo e plantio misto de *Acacia mangium*.

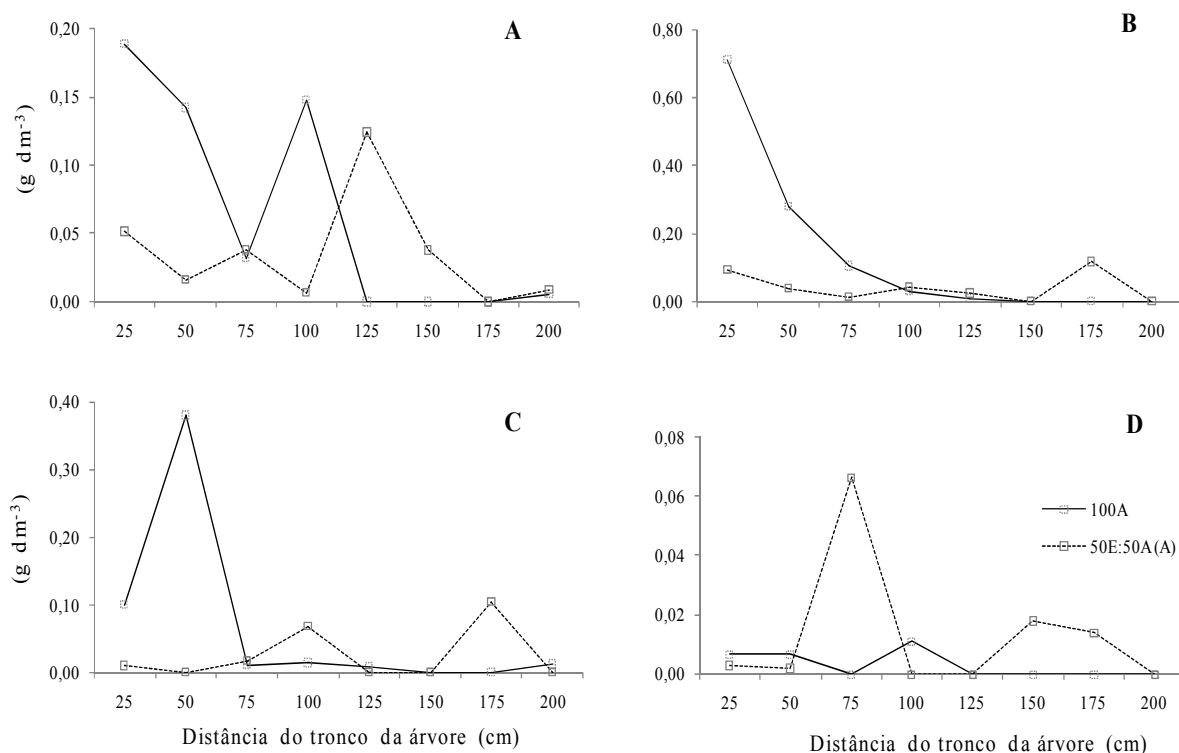


Figura 6.4 – Distribuição da biomassa de nódulos aos 18 meses de idade em plantio monoespecífico e misto de *Acacia mearnsii*, nas diferentes profundidades (A. 0-5; B. 5-10; C. 10-20 e D. 20-30 cm) em função da distância em relação ao tronco da árvore.

A maior quantidade de biomassa de nódulos encontra-se na camada de solo de 0 a 20 cm de profundidade, chegando a mais de $0,7 \text{ g dm}^{-3}$ a 25 cm de distância do tronco da árvore, na profundidade de 5 a 10 cm, onde também ocorre uma distribuição mais regular, com exceção da camada mais superficial. Na camada de 20 a 30 cm de profundidade, quase não há presença de nódulos ($\text{biomassa} < 0,01 \text{ g dm}^{-3}$) para a acácia-negra em monocultivo e existe apenas uma pequena quantidade ($\text{biomassa} < 0,07 \text{ g dm}^{-3}$) em consórcio. No estudo realizado por Silva (2007), observou-se que, em povoamento monoespecífico de *Acacia mangium*, foram encontrados nódulos em todas as posições de coleta, sem tendência de concentração próxima às árvores. Já no povoamento misto, os nódulos ficaram concentrados na proximidade das árvores, onde ocorreu a maior concentração de raízes finas.

A nodulação de espécies leguminosas é controlada por diversos fatores, dessa forma, a maior ou menor produção de biomassa de nódulos não apenas pode ser atrelada a possíveis interações entre espécie fixadora de nitrogênio e não fixadora. Em estudo realizado por Lawrie (1981) com dez espécies de leguminosas na Austrália, dentre elas a *Acacia mearnsii*, observou-se que a atividade nodular, alcançou o máximo na primavera e foi mínima no final do verão, continuando nesse patamar durante todo o inverno. Segundo esse mesmo autor, as

variações de precipitação e temperatura seriam os principais fatores que influenciariam as variações sazonais na atividade nodular. Inagaki et al. (2009) salientam que outro fator importante que define maior presença de nódulos é a disponibilidade de nitrogênio no solo, e Danso et al. (1992) mencionam, ainda, que adições de fosfato tiveram pouco efeito no crescimento do *Rhizobium*, mas reduziram o tempo para a nodulação e aumentaram o número de nódulos.

Um dos principais benefícios da nodulação é a fixação biológica do nitrogênio (FBN), sendo que a utilização de árvores fixadoras de nitrogênio em sistemas agrossilviculturais poderia contribuir para a produção sustentável através da restauração e manutenção da fertilidade do solo, bem como no combate à erosão e à desertificação, além de propiciar o estabelecimento de sistemas em solos deficientes, através da fixação de nitrogênio pela leguminosa e da disponibilização para as culturas associadas (DANSO et al., 1992).

6.3.2 Ocupação do solo pelo sistema radicular

Nas próximas figuras, podem-se verificar a distribuição de raízes finas (comprimento e biomassa) e nódulos nas diferentes camadas do solo, posições de amostragem (linha, entrelinha e diagonal à linha de plantio) e distâncias em relação ao tronco da árvore.

6.3.2.1 Densidade do comprimento de raízes finas (cm dm^{-3})

A distribuição do comprimento de raízes finas (cm dm^{-3}) em um corte transversal à linha de plantio em diferentes profundidades, em plantio monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, aos 8 e 18 meses de idade, pode ser vista na Figura 6.5. O crescimento do sistema radicular até aos 8 meses de idade, tanto para o plantio em monocultura como para o plantio misto, atingiu uma ocupação em torno de 125 cm de distância do tronco das árvores. Levando em consideração que o espaçamento na entrelinha de plantio é de 400 cm, isso resulta num espaço de 150 cm entre uma linha de plantio de árvores e a outra. Desse modo, como o milho foi semeado a uma distância mínima de 120 cm em relação à linha de plantio das espécies arbóreas, a competição por água e nutrientes pode

ser considerada mínima e, além do mais, o milho foi colhido quando o sistema estava com apenas 6 meses de idade, enquanto as raízes foram avaliadas aos 8 meses. Com isso, provavelmente, o sistema radicular das árvores ocupava menores projeções do que os 120 cm.

Outra consideração importante, aos 8 meses de idade, as árvores apresentaram uma concentração maior de raízes finas próximas ao tronco (0 a 50 cm de distância), ao passo que a uma distância aproximada de 75 cm ocorre uma densidade raízes pouco expressiva (10 cm dm^{-3}). Com isso, podemos considerar que a faixa de cultivo agrícola até essa idade poderia chegar a 250 cm ou cerca de 62,5% da área total do sistema. Mas cabe ressaltar que o sistema radicular das espécies agrícolas, quando semeadas muito próximas às espécies florestais, poderia provocar competição com o sistema radicular da árvore e prejudicar o seu crescimento potencial.

Estudo realizado em consórcios de milho com *Grevillea robusta* e *Senna spectabilis* com três anos de idade, por Livesley et al. (2000), observou que a densidade do comprimento médio de raízes finas das árvores, principalmente nos 15 centímetros superiores do solo, reduziu em 35 e 65%, respectivamente, devido à concorrência com a cultura agrícola, devido à capina manual, senescências sazonais ou devido à intensidade de podas. Para o milho, a densidade radicular diminuiu com a maior proximidade das linhas de plantio das árvores, também indicando efeito negativo entre os sistemas radiculares. Essa redução no crescimento e ocupação do solo pelo sistema radicular das espécies envolvidas em sistemas agrossilviculturais sugere que há competição por recursos do solo e, portanto, devem-se aplicar técnicas de manejo para que não ocorram perdas de produtividades nesses sistemas.

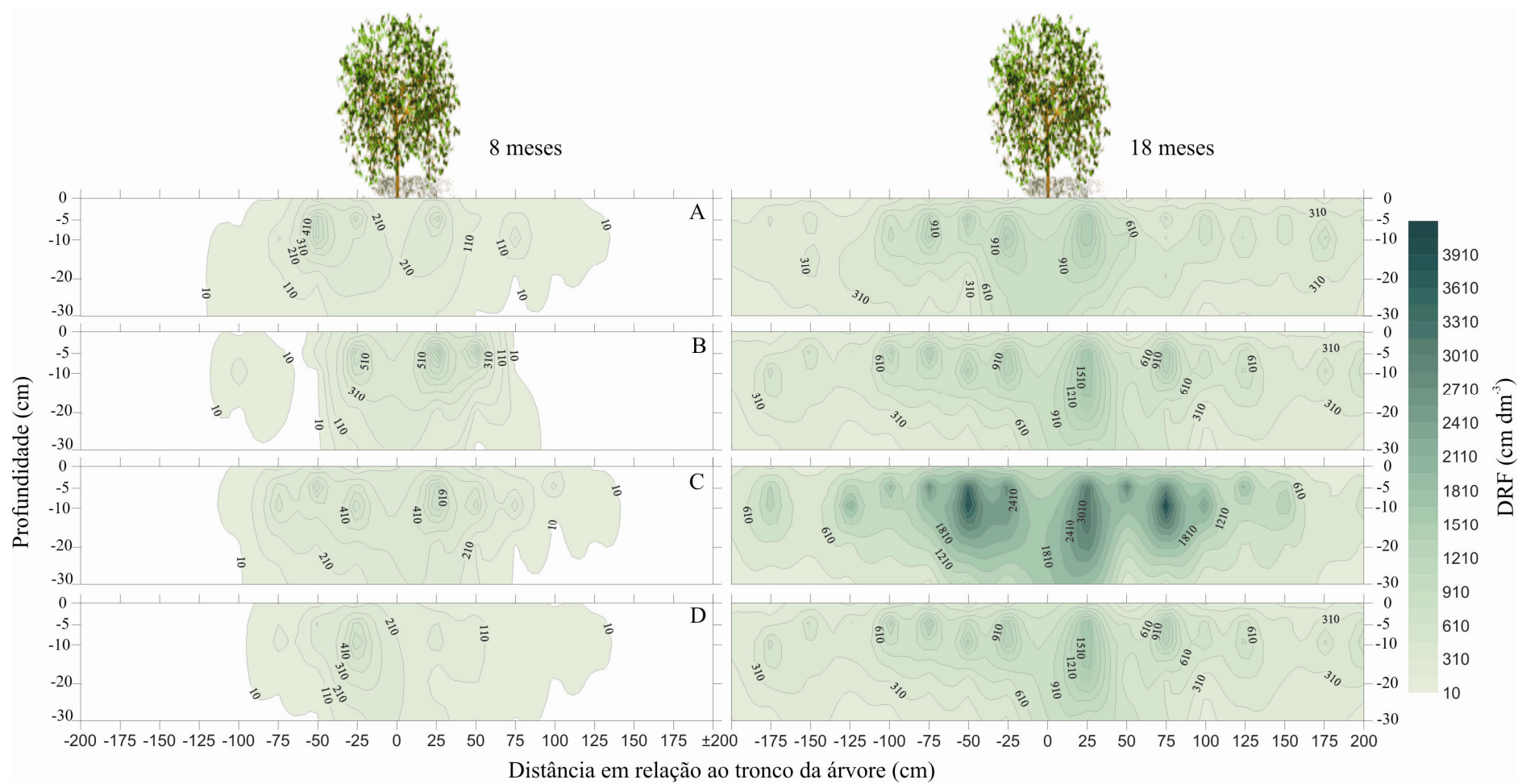


Figura 6.5 – Distribuição espacial da densidade do comprimento de raízes finas (cm dm^{-3}) no sentido da entrelinha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.

Aos 18 meses de idade, o sistema radicular das espécies florestais ocupava toda a área útil do sistema, sendo que a densidade do comprimento de raízes finas no sentido da entrelinha de plantio chegou a mais de 3.900 cm dm^{-3} , próximo ao tronco, para o povoamento monoespecífico de *Acacia mearnsii*. Essa densidade foi bem superior à verificada aos 8 meses de idade dos povoamentos, que chegava a, no máximo, 600 cm dm^{-3} , por exemplo, para o plantio misto de *Eucalyptus urograndis*. Nesse intervalo de dez meses entre as coletas, pôde-se verificar que, aos oito meses de idade, a densidade do comprimento de raízes finas até uma distância de 75 cm do tronco da árvore chegava a, no máximo, 10 cm dm^{-3} , ao passo que, nos 18 meses, passou para mais de 600 cm dm^{-3} , indicando que, nesse período, ocorreu um intenso crescimento do sistema radicular das espécies, tanto em monocultivo como em cultivo misto. A distribuição do comprimento de raízes finas (cm dm^{-3}) na linha de plantio em diferentes profundidades em plantio monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, aos 8 e 18 meses de idade, pode ser vista na Figura 6.6. Na linha de plantio, verificou-se um maior aumento da densidade de raízes finas em relação à entrelinha de plantio. Aos 8 meses de idade, a uma distância de 75 cm em relação ao tronco da árvore, na entrelinha de plantio, a densidade do comprimento de raízes finas chegava a cerca de 10 cm dm^{-3} , enquanto que na linha de plantio essa densidade passou a ser maior que 110 cm dm^{-3} .

Segundo Paulino et al. (2003), estudando a distribuição do sistema radicular de árvores de acácia-negra aos três anos de idade, as raízes cresceram melhor nas linhas de plantio, onde as condições de densidade e porosidade do solo se encontravam mais adequadas. Os autores supracitados salientam que esse maior crescimento das raízes finas da *Acacia mearnsii* se deve, provavelmente, ao fato de a área onde foi implantado o povoamento ter sido um campo nativo usado para pecuária extensiva, apresentando possível compactação do solo, o que, no momento do preparo, através da subsolagem, permitiu que as raízes finas se desenvolvessem melhor na linha de plantio. Essa presença do gado na área anteriormente ao plantio do povoamento foi situação idêntica a que ocorreu neste estudo. Já no estudo realizado por Ceconi et al. (2008), onde, na área de plantio, o solo não apresentava impedimentos quanto à compactação e possuía adubação realizada a lanço em toda a área e não somente na linha de plantio, não foi verificado, principalmente nos primeiros centímetros de profundidade, crescimento de raízes finas com intensidades diferentes. A Figura 6.7 demonstra a distribuição espacial da densidade do comprimento de raízes finas (cm dm^{-3}) no sentido da diagonal à linha de plantio. Na diagonal, como verificado para a entrelinha de plantio, o crescimento das raízes foi menor do que na linha de plantio.

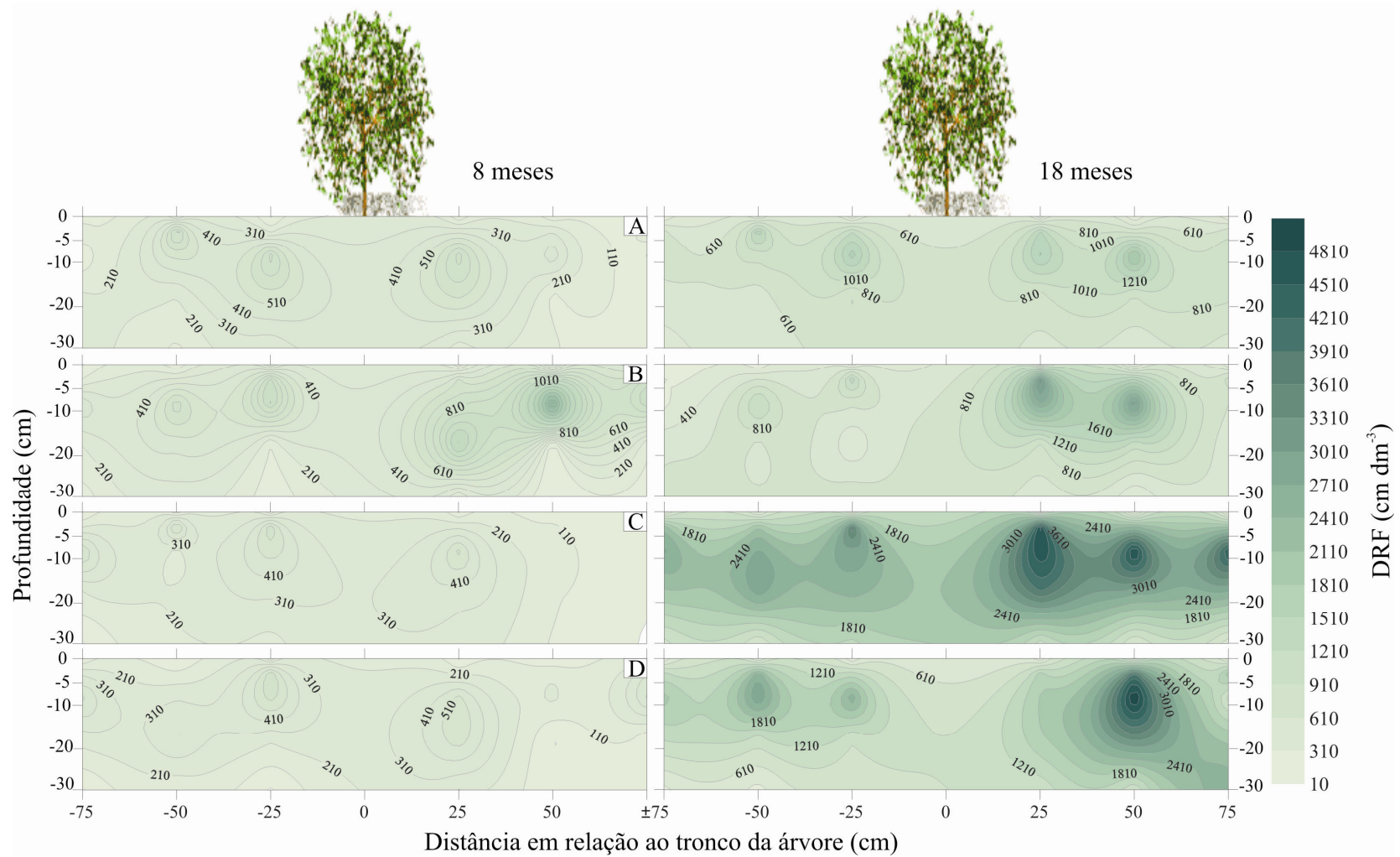


Figura 6.6 – Distribuição espacial da densidade do comprimento de raízes finas (cm dm^{-3}) no sentido da linha de plantio em povoamentos mono específico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.

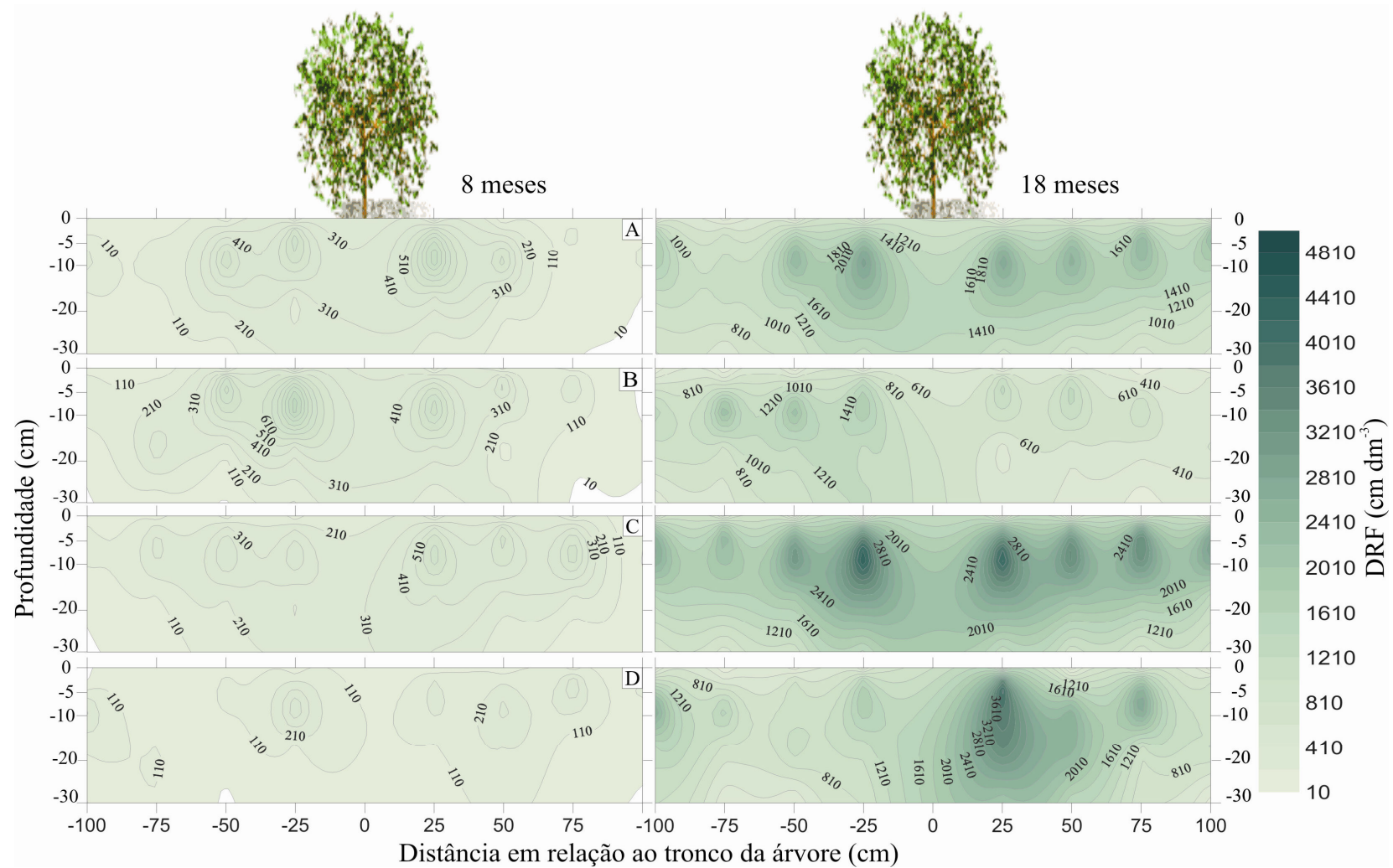


Figura 6.7 – Distribuição espacial da densidade do comprimento de raízes finas (cm dm^{-3}) no sentido da diagonal à linha de plantio em povoamentos monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.

6.3.2.2 Densidade da biomassa de raízes finas ($g\ dm^{-3}$)

A distribuição da densidade da biomassa de raízes finas ($g\ dm^{-3}$) na linha de plantio em diferentes profundidades em plantios monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, aos 8 e 18 meses de idade, podem ser vistos na Figura 6.8. Aos 8 meses de idade dos povoamentos, a biomassa de raízes finas, tanto do monocultivo como do plantio misto, apresentavam a mesma tendência de ocupação do solo, ocorrendo uma maior concentração na camada de 5 a 10 cm de profundidade e nas proximidades do tronco da árvore. Aos 18 meses de idade, a *Acacia mearnsii*, em monocultivo e em plantio misto, apresentou maior concentração de biomassa de raízes finas nas diferentes camadas do solo, sendo que a tendência de maior biomassa de raízes na camada de 5 a 10 cm de profundidade e nas proximidades das árvores se manteve presente, tanto para a entrelinha de plantio como para a linha de plantio (Figura 6.9) e para a diagonal entre duas linhas de plantio (Figura 6.10). Essa maior densidade de raízes finas na camada não superficial do solo (5 -10 cm de profundidade) decorre da baixa fertilidade do solo, da presença de pouca matéria orgânica e da reduzida umidade do solo, já que em grande parte do período de desenvolvimento das plantas ocorreram baixas quantidades de pluviosidade. Esses fatores, a disponibilidade de oxigênio e outros, são citados por Gonçalves e Mello (2004), como determinantes no crescimento e ocupação do solo em profundidade pelas raízes. Silva et al. (2009) também observaram que a exploração radicular era maior nas camadas com maior disponibilidade de água.

Segundo Gonçalves e Mello (2004), alguns estudos têm demonstrado que a posição de amostragem de raízes finas em relação à distância do tronco da árvore não interfere na avaliação da distribuição e na quantificação. Entretanto, Reynolds (1970) relata que uma possível maior concentração de raízes finas nas proximidades do tronco da árvore decorre em grande parte do escoamento de água da chuva pelo tronco, ocasionando maior disponibilidade de água e nutrientes, bem como do fato de ser menor a competição intra e interespecífica nessa posição, principalmente em sítios onde há limitação de água e nutrientes. Esse fator pode ser considerado um dos principais controladores da distribuição de raízes finas nos povoamentos estudados, pois, no período deste estudo, a precipitação pluviométrica foi baixa, apresentando períodos de estiagem. Para Gonçalves e Mello (2004), esses efeitos podem desaparecer com o desenvolvimento do povoamento, porém ainda demonstrando tendência de maior crescimento radicular próximo ao tronco (LACLAU et al., 2004).

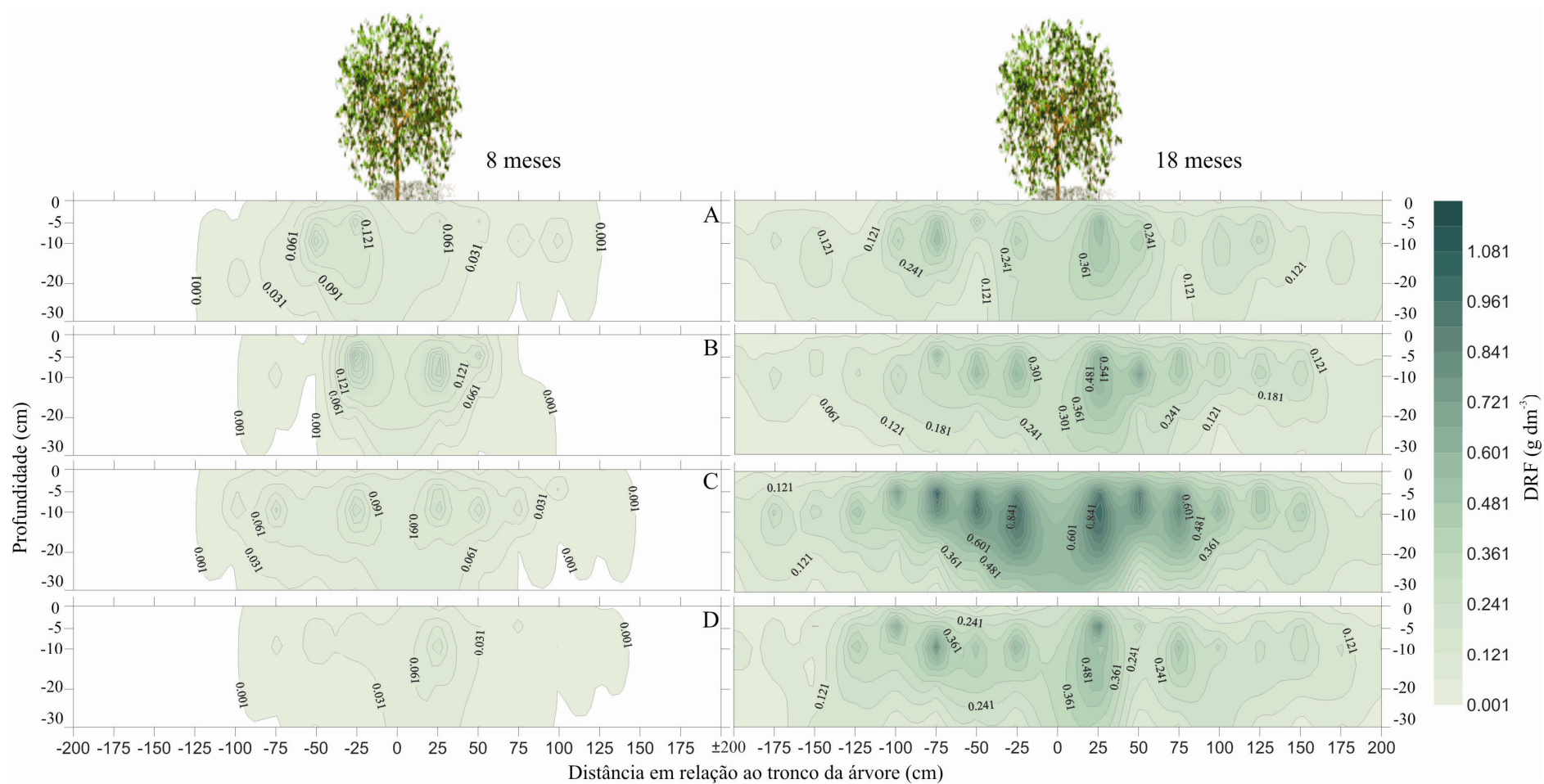


Figura 6.8 – Distribuição espacial da densidade da biomassa de raízes finas (g dm^{-3}) no sentido das entrelinhas de plantio em povoamentos mono específico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.

Além do mais, variações de características morfológicas, físicas e químicas do perfil do solo podem determinar as variações da distribuição das raízes finas (GONÇALVES; MELLO, 2004). No estudo realizado por Côté et al. (2003), os autores observaram que a produção de raízes aumentava com o aumento da concentração de NO^{-3} , NH^{+4} e $\text{NO}^{-3} + \text{NH}^{+4}$ na solução do solo. Mello et al. (1998) relatam que o crescimento do sistema radicular e a ocupação do solo por ele é uma característica intrínseca do genótipo, a qual está estritamente relacionada com seu comportamento nutricional, potencial produtivo e capacidade de adaptação às condições de estresse ambiental.

Pôde-se observar, também, que aos 18 meses de idade dos povoamentos ocorreu um intenso aumento de biomassa de raízes finas em todas as camadas do solo e também a ocupação de toda a área útil de cada árvore. Para Gonçalves e Mello (2004), em sítios pobres, como é o caso deste estudo, a densidade de raízes se torna maior, devido às menores disponibilidades de nutrientes e água no solo, fazendo com que as plantas explorem um maior volume de solo, aumentando a capacidade de absorção de água e nutrientes. O inverso ocorreria em sítios mais produtivos, de solos mais férteis, onde as raízes não precisariam explorar volumes maiores de solo para absorver as quantidades necessárias de nutrientes e água para suas atividades metabólicas vitais, o que resulta em um maior incremento em biomassa e, conseqüentemente, em maior produtividade do sítio florestal.

Para Fabião et al. (1995), avaliando o sistema radicular de *Eucalyptus globulus*, a interferência no crescimento radicular seria mais acentuada quando houvesse estresse hídrico do que na falta de nutrientes. Nambiar (1983) relata que outros fatores poderiam ser importantes na distribuição do sistema radicular de espécies florestais, como por exemplo, a temperatura do solo e do ar. Ele observou que em *Pinus radiata*, quando a temperatura do solo era superior a 15 °C, ocorria um maior desenvolvimento de raízes finas.

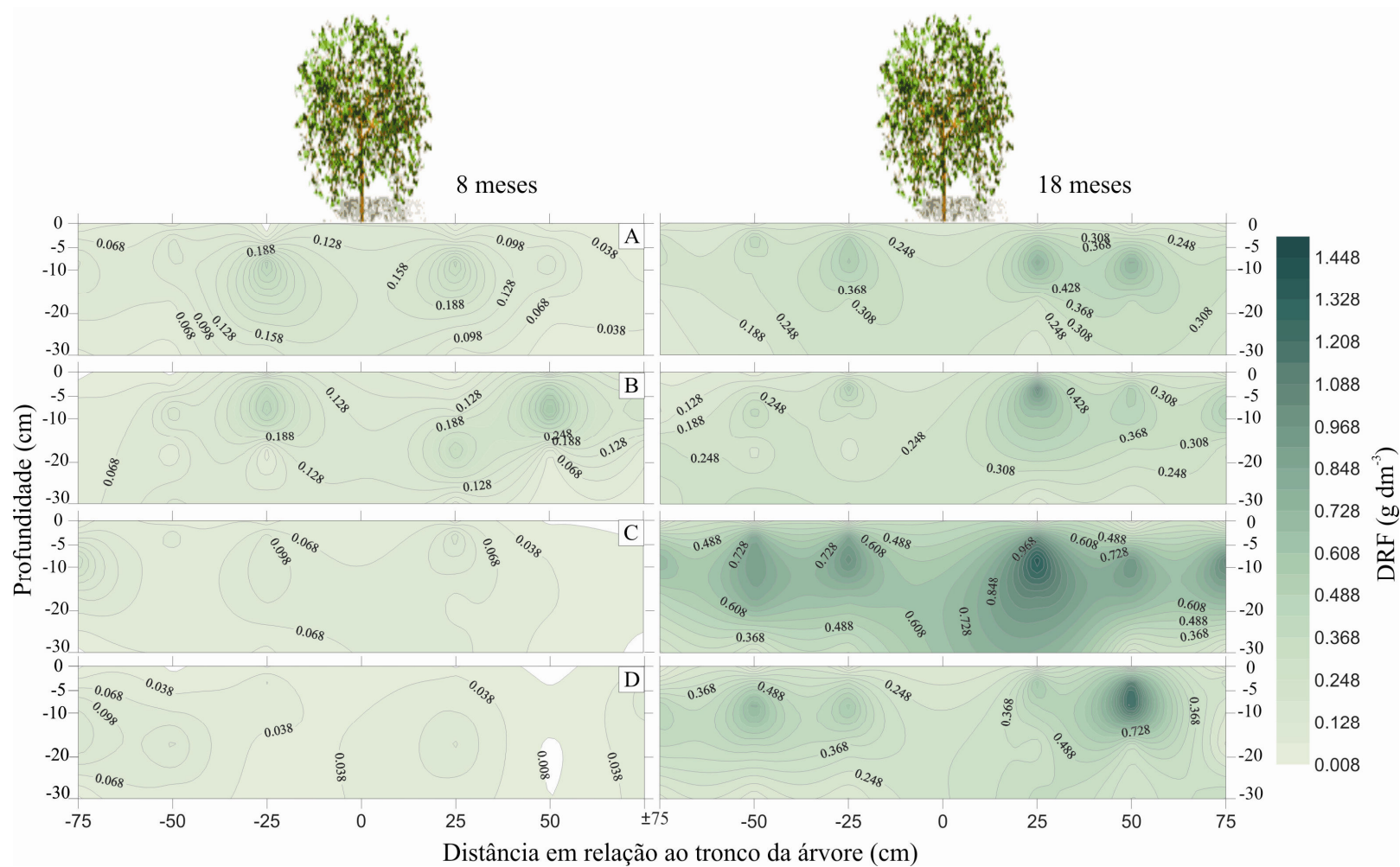


Figura 6.9 – Distribuição espacial da densidade da biomassa de raízes finas (g dm^{-3}) no sentido da linha de plantio em povoamentos mono específico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.

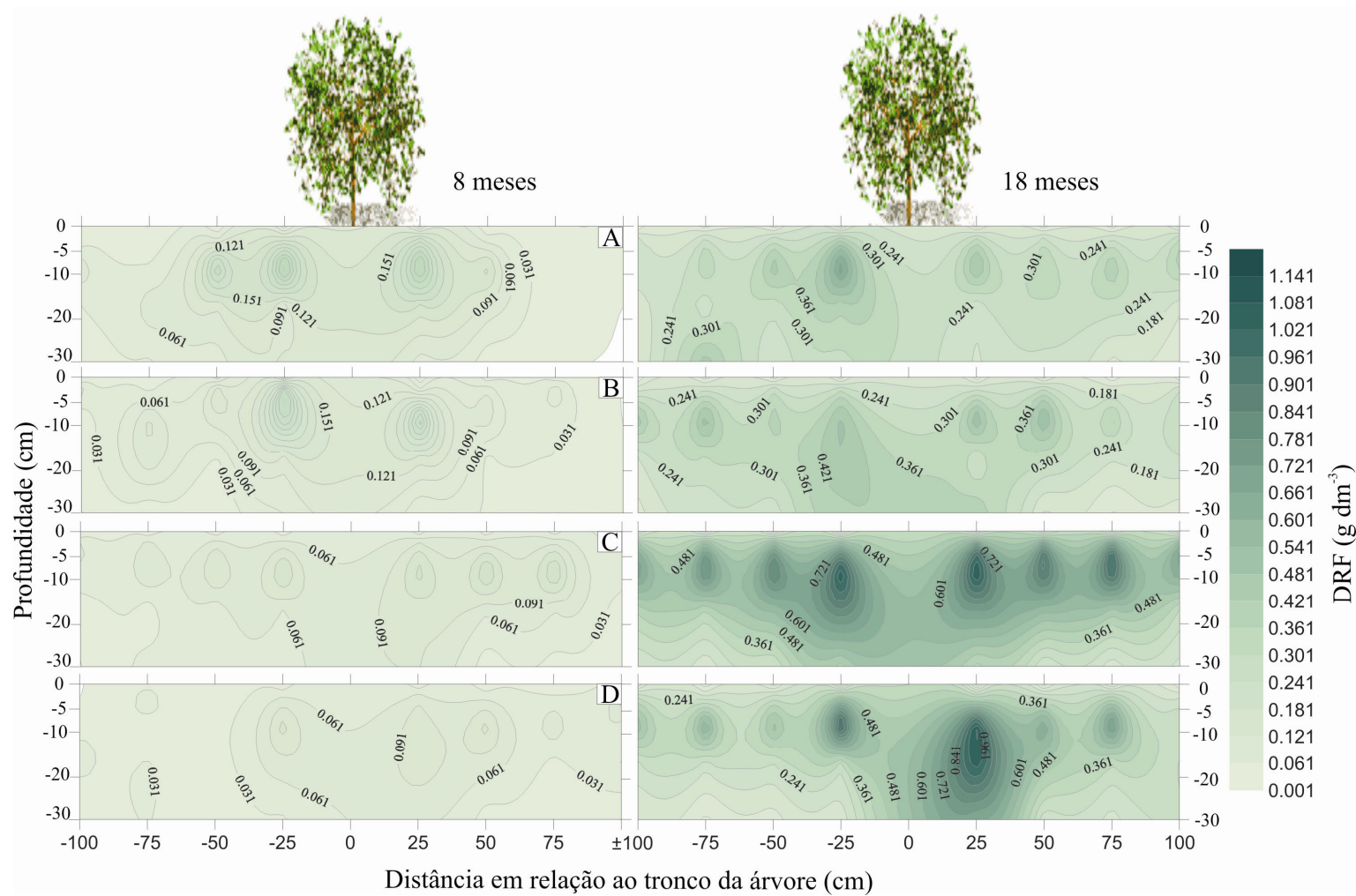


Figura 6.10 – Distribuição espacial de densidade de biomassa de raízes finas (g dm^{-3}) no sentido da diagonal à linha de plantio em povoamentos mono específico e misto de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* (A = 100E; B = 50E:50A (E); C = 100A e D = 50E:50A (A)), aos 8 e 18 meses de idade.

6.3.2.3 Densidade da biomassa de nódulos (g dm^{-3})

A presença de nódulos foi muito variável, tanto para o monocultivo como para o cultivo misto de *Acacia mearnsii*, na entrelinha de plantio (Figura 6.11), na linha de plantio (Figura 6.12) e na diagonal entre duas linhas de plantio (Figura 6.13), aos 18 meses de idade dos povoamentos. O mesmo verificado para o comprimento e biomassa de raízes finas foi encontrado para a distribuição de nódulos, a qual foi maior na linha de plantio, chegando a mais de $2,4 \text{ g dm}^{-3}$, seguida pela diagonal, chegando a mais de $1,2 \text{ g dm}^{-3}$ e entrelinha de plantio, não sendo superior a $0,6 \text{ g dm}^{-3}$. Distribuição semelhante foi encontrada para o monocultivo de *Acacia mangium*, onde, aos 18 e 30 meses de idade, a nodulação foi mais intensa na linha de plantio na distância média entre árvores. Já para o cultivo misto, a nodulação foi mais intensa próximo à árvore (SILVA, 2007). Porém, para a *Acacia mangium*, a biomassa de nódulos foi inferior à da *Acacia mearnsii*, chegando a valores médios menores que $2,0 \text{ g dm}^{-3}$.

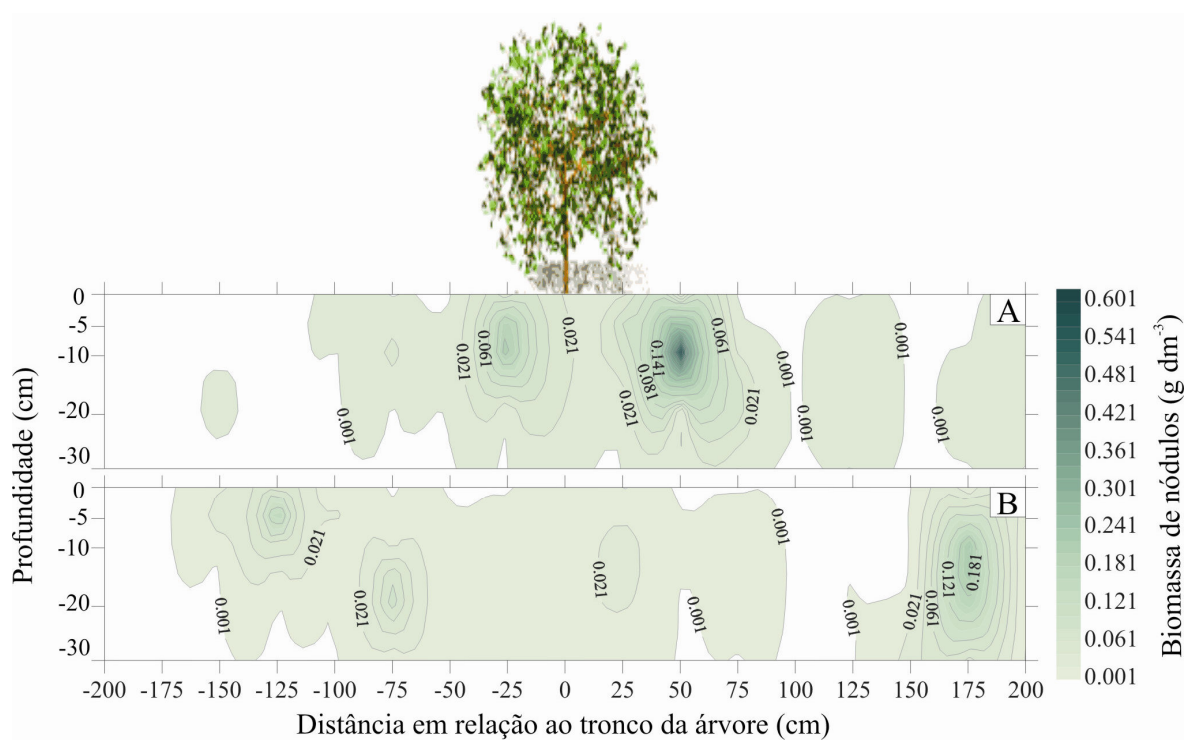


Figura 6.11 – Distribuição espacial da biomassa de nódulos (g dm^{-3}) no sentido da entrelinha de plantio em povoamentos mono específico e misto de *Acacia mearnsii* (A = 100A e B = 50E:50A (A)), aos 18 meses de idade.

Segundo Döbereiner (1984), altas quantidades de nitrogênio somente serão fixadas em solos onde há pouco ou nenhum nitrogênio disponível. Estudos relataram que a maior distribuição e produção de nódulos, além da interferência da quantidade de nitrogênio disponível no solo, pode ser influenciada pela maior umidade do solo (HABISH, 1970; SILVA, 2007), pela elevação do pH (HABISH, 1970; UMALI-GARCIA et al., 1988; SPRENT, 1994), pelo aumento na disponibilidade de fósforo (FRANCO, 1984; SPRENT, 1994; NGUYEN et al.; 2006) e pela toxicidade de alumínio e manganês (FRANCO, 1984).

Para Sprent e Parsons (2000), conhecer a habilidade de nodulação das espécies leguminosas, as taxas de fixação de nitrogênio, suas adaptações fisiológicas e diversidade genética é muito importante para fornecer conhecimentos fundamentais para a conservação e utilização mais adequada dessas plantas.

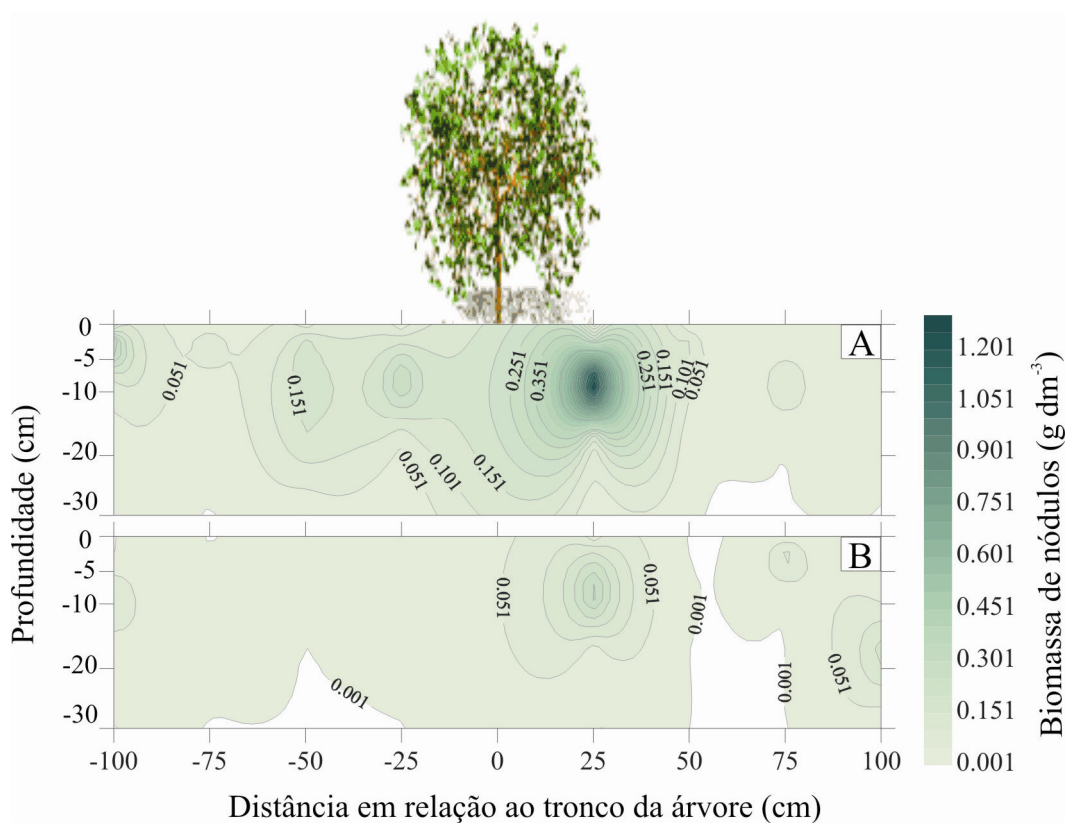


Figura 6.13 – Distribuição espacial da biomassa de nódulos (g dm^{-3}) no sentido da diagonal à linha de plantio em povoamentos mono específico e misto de *Acacia mearnsii* (A = 100A e B = 50E:50A (A)), aos 18 meses de idade.

6.4 Conclusões

Com base na avaliação do sistema radicular (raízes finas – diâmetro ≤ 2 mm) de plantios monoespecífico e misto de *Acacia mearnsii* e *Eucalyptus urograndis*, pode-se inferir que:

- A densidade de raízes finas aos 8 meses de idade, tanto para o comprimento como para a biomassa do sistema radicular do *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii* em monocultivo e em plantio misto, possui o mesmo comportamento para a ocupação das diferentes camadas do solo;

- Já aos 18 meses de idade, a densidade de raízes finas foi superior ($p < 0,05$) no plantio monoespecífico de *Acacia mearnsii* em relação ao povoamento monoespecífico e misto de *Eucalyptus urograndis*;

- Não ocorreram interações interespecíficas ou intraespecíficas entre os sistemas radiculares do eucalipto e da acácia-negra, até os 18 meses de idade;

- Devido à grande variabilidade, a biomassa de nódulos, apesar de ser muito superior no plantio monoespecífico de *Acacia mearnsii* (100A) em comparação com o plantio misto (50E:50A-A), apresentou diferenças não significativas ($p > 0,05$).

- O crescimento do sistema radicular até aos 8 meses de idade, tanto para o plantio em monocultura como para o plantio misto, atingiu uma ocupação em torno de 120 cm de distância do tronco das árvores, e aos 18 meses de idade, o sistema radicular das espécies florestais ocupava toda a área útil do sistema;

- A maior densidade de raízes e nódulos encontra-se na camada de 5 a 10 cm de profundidade, nas proximidades do tronco da árvore e na linha de plantio, seguidas pela diagonal e entrelinha de plantio;

- A competição por nutrientes pode ser considerada mínima entre o milho e as espécies florestais, devido à pequena projeção do sistema radicular das árvores durante o cultivo agrícola;

- O conhecimento sobre o crescimento das raízes finas e a configuração do sistema radicular durante a fase inicial de desenvolvimento dos povoamentos pode ajudar nas decisões de práticas onde a silvicultura intensiva ou agrossilvicultura é praticada e, portanto, assegurar o uso mais eficiente dos recursos do solo.

6.5 Referências bibliográficas

AL AFAS, N. et al. Growth and production of a short-rotation coppice culture of poplar—IV: Fine root characteristics of five poplar clones. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 32, n. 6, p. 494–502, june 2008.

BAUHUS, J.; KHANNA, P. K.; MENDEN, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Canadian Journal Forestry Research**, Montreal, v. 30, n. 12, p. 1886-1894, dec. 2000.

BIAO, Z. et al. Space-time dynamics of fine root biomass of six forests in the Maoershan forest region, northeast China. **Frontiers of Biology in China**, Beijing, v. 2, n. 2, p. 136-142, apr. 2007.

BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 188 p.

BOUILLET, J. P. et al. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil 2: Nitrogen accumulation in the stands and biological N₂ fixation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 12, p. 3918–3930, june 2008.

CECONI, D. E. et al. Biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. estabelecido em área degradada por mineração de carvão. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, p. 1-10, jan./mar. 2008.

COÊLHO, S. R. F. **Crescimento e fixação de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas nativas**. 2006. 55 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2006.

CÔTÉ, B. et al. A cyclical but asynchronous pattern of fine root and woody biomass production in a hardwood forest of southern Quebec and its relationships with annual variation of temperature and nutrient availability. **Plant and Soil**, The Hague, v. 250, n. 1, p. 49–57, mar. 2003.

DANSO, S. K. A.; BOWEN, G. D.; SANGINGA, N. Biological nitrogen-fixation in trees in agroecosystems. **Plant and Soil**, The Hague, v. 141, n. 1/2, p. 177–196, mar. 1992.

DHYANI, S. K.; TRIPATHI, R. S. Biomass and production of fine and coarse roots of trees under agrisilvicultural practices in northeast India. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 50, n. 2, p. 107-121, may 2000.

DÖBEREINER, J. Nodulação e fixação de nitrogênio em leguminosas florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, s/n, p. 83-90, june 1984.

FABIÃO, A. et al. Development of root biomass in an *Eucalyptus globulus* plantation under different water and nutrient regimes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 168-169, n. 1, p. 215-223, jan. 1995.

FRANCO, A. A. Fixação de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, s/n, p. 253-261, june 1984.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. The root System of trees. IN: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 223-267.

HABISH, H. A. Effect of certain soil conditions on nodulation of *Acacia* spp. **Plant and Soil**, The Hague, v. 33, n. 1/3, p. 1-6, aug. 1970.

HAUSER, S. Root distribution of *Dactyladenia* (*Acioa*) *barteri* and *Senna* (*Cassia*) *siamea* in alley cropping on ultisol. I. Implications for field experimentation. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 24, n. 2, p. 111-121, nov. 1993.

INAGAKI, M. et al. Fine-root production in response to nutrient application at three forest plantations in Sabah, Malaysia: higher nitrogen and phosphorus demand by *Acacia mangium*. **Journal of Forestry Research**, Beijing, v. 14, p. 178-182, 2009.

LACLAU, J. P. et al. The function of the superficial root mat in the biogeochemical cycles of nutrients in Congolese *Eucalyptus* plantations. **Annals of Botany**, London, v. 93, n. 3, p. 249-261, mar. 2004.

LAWRIE, A. C. Nitrogen Fixation by Native Australian Legumes. **Australian Journal of Botany**, Melbourn, v. 29, n.2, p. 143-157, apr. 1981.

LELES, P. S. **Crescimento, alocação de biomassa e distribuição de nutrientes e uso de água em *E. camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos**. 1995. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LIVESLEY, S. J.; GREGORY, P. J.; BURESH, R. J. Competition in tree row agroforestry systems. 1. Distribution and dynamics of ne root length and biomass. **Plant and soil**, The Hague, v. 297, n. 1/2, p. 149-161, aug. 2000.

MELLO, S. L. M. **Dinâmica de raízes finas e aporte de carbono no solo sob povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Estado de São Paulo**. 2004. 84 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2004.

MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M.; OLIVEIRA, L. E. G. Características do sistema radicular em povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 54, p. 17-28, dez. 1998.

NAMBIAR, N. K. S. Root development and configuration in intensively managed radiate pine plantations. **Plant and Soil**, The Hague, v. 71, n. 1, p. 37-47, feb. 1983.

NGUYEN, N. T.; MOHAPATRA, P. K.; FUJITA, K. Elevated CO₂ alleviates the effects of low P on the growth of N₂-fixing *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, The Hague, v. 285, n. 1/2, p. 369–379, july 2006.

PAULINO, A. F. et al. Distribuição do sistema radicular de árvores de acácia-negra oriundas de mudas produzidas em diferentes recipientes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.27, n. 5, p. 605-610, set./out. 2003.

QING-CHENG, W. Spatial distribution of fine roots of larch and ash in the mixed plantation stand. **Journal of Forestry Research**, Beijing, v. 13, n. 4, p. 265-268, dec. 2002.

REYNOLDS, E. R. C. Root distribution and the cause of its spatial variability in *Pseudotsuga taxifolia* (Poir.) Britt. **Plant and Soil**, The Hague, v. 32, n. 1/3, p. 501-517, feb. 1970.

SCHENK, H. J. Root competition: beyond recourse depletion. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 94, n. 4, p. 725-739, july, 2006.

SCHMID, I. The influence of soil type and interspecific competition on the fine root system of Norway spruce and European beech. **Basic and Applied Ecology**, Jena, v. 3, n. 4, p. 339-346, out./dec. 2002.

SCHROTH, G. Tree root characteristics as criteria for species selection and system design in agroforestry. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 30, n. 1/2, p. 125-143, may 1995.

SILVA, E. V. **Desenvolvimento de raízes finas em povoamentos monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium***. 2007, 54 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais – Silvicultura e Manejo Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”/Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2007.

SILVA, E. V. et al. Dynamics of fine root distribution after establishment of monospecific and mixed-species plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium*. **Plant and Soil**, The Hague, v. 325, n. 1/2, p. 305–318, dec. 2009.

SILVA, F. de A.S. **ASSISTAT versão 7.5 beta**. DEAG - CTRN - Universidade Federal de Campina Grande Campus de Campina Grande-PB, 2008.

SPRENT, J. I. Evolution and diversity in the legume-rhizobium symbiosis: chaos theory? **Plant and Soil**, The Hague, v. 161, n. 1, p. 1-10, apr. 1994.

_____; PARSONS, R. Nitrogen fixation in legume and non-legume trees. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2/3, p. 183–196, Mar. 2000.

TORQUEBIAU, E. F.; KWESIGA, F. Root development in a *Sesbania sesban* fallow-maize system in Eastern Zambia. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 34, n. 2, p. 193-211, may 1996.

UMALI-GARCIA, M.; LIBUIT, J. S.; BAGGAYAN, R. L. Effects of Rhizobium inoculation on growth and nodulation of *Albizia falcataria* (L.) Fosh. and *Acacia mangium* Willd. in the nursery. **Plant and Soil**, The Hague, v. 108, n. 1, p. 71-78, apr. 1988.

UTHSCSA. Image Tool for Windows version 3.00. University of Texas Health Science Center in San Antonio, 2002.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402 p.

7 CONCLUSÃO GERAL

Com a realização deste estudo, avaliando plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*, em sistema agrossilvicultural, pode-se inferir que:

- O crescimento inicial em diâmetro, a altura total e a produção de madeira de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* não diferiram significativamente ($p > 0,05$) nos diferentes tratamentos;

- O consórcio das espécies florestais provocou um efeito positivo interespecífico no índice de área foliar do *Eucalyptus urograndis* em relação à *Acacia mearnsii*;

- A biomassa total acima do solo foi igual estatisticamente ($p > 0,05$) entre o monocultivo e o plantio misto das espécies florestais, mas quando avaliado por compartimentos, verificou-se interação competitiva interespecífica do eucalipto sobre a acácia-negra, ocasionando a redução da formação de biomassa de copa;

- A produção total de biomassa do milho (*Zea mays*) consorciado com plantios monoespecíficos e mistos das espécies florestais não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) entre os tratamentos testados;

- Devido à grande exportação de nutrientes pela colheita do milho, deve-se, mesmo com a manutenção da palhada nos sistemas agrossilviculturais, fazer reposição nutricional principalmente de P e N em cultivos seguintes, em decorrência da grande quantidade que é exportada pelos grãos, que chega a 68,1 e 51,7%, respectivamente, em relação ao total acumulado na biomassa;

- O sistema radicular, independentemente do sistema de cultivo, atinge uma projeção máxima de entorno de 125 cm de distância do tronco da árvore aos 8 meses de idade; já aos 18 meses, atinge toda a área útil de cada árvore;

- A densidade de raízes finas aos 8 meses de idade, tanto para o comprimento como para a biomassa do sistema radicular do *Eucalyptus grandis* e *Acacia mearnsii* em monocultivo e em plantio misto, possui o mesmo comportamento para a ocupação das diferentes camadas do solo;

- Não foram observadas interações interespecíficas ou intraespecíficas entre os sistemas radiculares do eucalipto e da acácia-negra, até os 18 meses de idade;

- A biomassa de nódulos teve distribuição muito variável e, conseqüentemente, não apresentou diferenças entre o monocultivo e o cultivo misto de *Acacia mearnsii*;

- A maior densidade de raízes e nódulos encontra-se na camada de 5 a 10 cm de profundidade, nas proximidades do tronco da árvore e na linha de plantio, seguida pela diagonal e entrelinha de plantio. A competição por nutrientes pode ser considerada mínima entre o milho e as espécies florestais, devido à pequena projeção do sistema radicular das árvores durante o cultivo agrícola (6 meses iniciais).

8 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos neste estudo e nas perspectivas futuras, podem-se fazer as seguintes recomendações:

1 – deve-se colher apenas a espiga do milho nos sistemas agrossilviculturais, pois a colheita da biomassa total ocasiona uma levada exportação de nutrientes. Mas, mesmo colhendo somente a espiga, deve-se fazer reposição nutricional principalmente de P e N em cultivos seguintes, em decorrência da grande quantidade que é exportada pelos grãos, a qual chega a 68,1 e 51,7%, respectivamente, em relação ao total acumulado na biomassa;

2 - deve-se continuar analisando o crescimento dos plantios mistos até a sua idade de rotação, para que, com isso, possam ser alcançadas conclusões mais concretas do possível efeito da fixação biológica de nitrogênio atmosférico pela *Acacia mearnsii* na produtividade do *Eucalyptus urograndis*;

3 – nos próximos estudos, devem-se avaliar diferentes intensidades de desramas nas espécies florestais, para que se possa obter mais de uma safra agrícola no sistema agrossilvicultural, além de propiciar, com a desrama da leguminosa, maior disponibilidade de nitrogênio para as demais espécies envolvidas no consórcio e, assim, talvez, observar efeitos positivos na produtividade, nos anos iniciais de desenvolvimento do sistema;

4 – Efetuar, também, avaliações de diferentes intensidades de espaçamentos e arranjos espaciais das espécies florestais sobre o aumento e manutenção da produtividade agrícola, sem prejuízos no crescimento das culturas envolvidas;

5 – Quantificar as entradas de nutrientes pela água da chuva nos diferentes sistemas agrossilviculturais, bem como a alteração dos seus teores em contato com as diversas culturas, além de avaliar a deposição de serapilheira e o efeito da leguminosa no processo de decomposição do material orgânico.

APÊNDICES

**APÊNDICE A - Aspectos da implantação da área experimental no município de Bagé-
RS. Fotos: KLEINPAUL (2008).**



APÊNDICE B - Aspectos da quantificação da biomassa acima do solo em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* aos 6 e 18 meses de idade.



APÊNDICE C - Aspectos da quantificação da biomassa acima do solo do milho em sistema agrossilvicultural.



APÊNDICE D - Aspectos da amostragem das raízes finas em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii*.



APÊNDICE E - Aspectos de retirada das raízes finas do solo, através da lavagem com jato de água em peneira de 2 mm sobre uma de 0,34 mm, armazenamento em frascos com solução de álcool e conservação em ambiente refrigerado.



APÊNDICE F - Aspectos da digitalização de raízes finas das espécies florestais e separação dos nódulos.

