

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

**ASPECTOS NUTRICIONAIS DE UM SISTEMA
AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO NO SUL DO
RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

TESE DE DOUTORADO

Francine Neves Calil

Santa Maria, RS, Brasil

2008

**ASPECTOS NUTRICIONAIS DE UM SISTEMA
AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO NO SUL DO RIO
GRANDE DO SUL, BRASIL**

por

Francine Neves Calil

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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 **Doutor em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr.nat. techn. Mauro Valdir Schumacher

Santa Maria, RS, Brasil

2008

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**ASPECTOS NUTRICIONAIS DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL
COM EUCALIPTO NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL**

elaborada por
Francine Neves Calil

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

COMISSÃO EXAMINADORA

Mauro Valdir Schumacher, Dr.
(Presidente/Orientador)

Vilmar Luciano Mattei, Dr. (UFPEL)

Nilton César Mantovani, Dr. (CESNORS)

Martha Adaime, Dra. (UFSM)

Reimar Carlesso, Ph.D. (UFSM)

Santa Maria, 16 de maio de 2008.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu pai Fugued (*in memorian*) e a minha mãe Noemi, a quem devo muito do que aprendi em minha vida. Tenho certeza de que vocês são os grandes incentivadores para que eu concluísse esse estudo.

AGRADECIMENTOS

À Empresa Votorantim Celulose e Papel (VCP) nas pessoas dos Srs. João Afiune Sobrinho, Glodoaldo Ramiro e Luiz Otávio Ramos, pela oportunidade da realização desse estudo.

À CAPES pela concessão da bolsa durante doutorado na Universidade Federal de Santa Maria e também durante o doutorado-sanduíche na Alemanha (Freiburg).

Ao meu orientador na Universidade Federal de Santa Maria, Prof. Dr. Mauro Valdir Schumacher, pelo incentivo, ajuda, carinho e paciência.

Ao meu orientador na Universidade de Freiburg, Prof. Dr. Peter Trüby, sempre incansável tanto na parte científica quanto na parte pessoal.

Ao meu esposo Ricardo Sartori Cella, pelo incentivo nas horas difíceis e também pela ajuda na execução da tese.

A minha família, especialmente minha tia Iolanda e toda sua família. Vocês são fundamentais para mim.

Ao meu irmão Asdrubal e família; muito obrigada pela força.

A minha amiga Luciana Morales, sempre dispensando a ajuda nos momentos mais difíceis.

À amiga Petra Großmann e família que foram mais do que amigos durante todo o período em que estive em Freiburg. Guardarei a amizade de vocês para sempre.

Às amigas do Laboratório da Universidade de Freiburg Christina e Angela, muito obrigada por tudo que vocês me ensinaram.

À amiga Fernanda Taschetto pela grande amizade.

Ao colega e amigo, Eng^o. Ftal. Rudi Witschoreck pela amizade, companheirismo e importantes participações nas discussões relativas aos resultados.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, Joabel Barbieri, Lucas Pissinin, Márcio Viera, Darlan Bonacina, Márcio Navroski, Eduardo Londero, Josiane Marafiga, Mirian Valente, Edenilson Liberalesso, Denise Szymczak, Leonardo Glass e Isabel Kleinpaul, muito obrigada pela ajuda no campo e no laboratório e, principalmente, pelo companheirismo e amizade de todos.

Ao Eng^o, Ftal. Eleandro José Brun pela companhia durante a jornada na Alemanha e pela grande amizade.

Ao Eng^o. Ftal. Vicente Guilherme Lopes pela incansável ajuda nas coletas de campo e pela amizade.

Aos amigos Thomas Caspari, Nina Koele e Pawan Datta, guardarei para sempre a amizade e companheirismo de vocês.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

ASPECTOS NUTRICIONAIS DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL COM EUCALIPTO NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

AUTORA: FRANCINE NEVES CALIL

ORIENTADOR: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 16 de maio de 2008.

Este estudo foi realizado em área experimental da Fazenda Aroeira, pertencente a empresa Votorantim Celulose e Papel, unidade Rio Grande do Sul, sob coordenadas geográficas 31° 45' 50.7" S e 53° 50' 34.9" W, localizada no município de Candiota. Na área, existe uma base de pesquisa, onde estão sendo monitorados os fatores de produção envolvidos em um sistema agroflorestal, com quatro diferentes tratamentos (T1 = eucalipto solteiro plantado em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo (testemunha); T3 = SAF (eucalipto plantado em linha dupla), T4 = SAF (eucalipto plantado em linha tripla)). Para tanto, este estudo foi dividido em quatro capítulos, os quais são: 1) Biomassa e nutrientes nos componentes de um sistema agroflorestal no sul do Rio Grande do Sul, onde foi quantificada a biomassa acima do solo dos componentes eucalipto, sorgo e girassol, bem como os nutrientes nela contidos. Como biomassa acima do solo, o sorgo apresentou um total de 9.876 kg ha⁻¹ (17,67% nas folhas, 47,74% no colmo e 34,61% nos grãos. No girassol, a biomassa total acima do solo totalizou 11.968 kg ha⁻¹ (21,62% no capítulo, 24,03% nas folhas, 21,32% nos grãos e 22,03% no caule). A biomassa acima do solo total no eucalipto, aos 16 meses, totalizou 10.974 kg ha⁻¹ (45,28% na madeira, 26,31% nos galhos, 19,96% nas folhas e 8,45% na casca). O conteúdo de nutrientes na cultura do sorgo apresentou-se na seguinte magnitude para o total: C > N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Al > Na > Mn. Na cultura do girassol, a magnitude de distribuição dos nutrientes na biomassa total, foi: C > K > N > Ca > Mg > P > S > Na > Fe > Al > Mn. No eucalipto, a magnitude da distribuição do total de nutrientes foi: C > N > Ca > K > Mg > P > S > Na > Mn > Al > Fe; 2) Entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica em área no sul do Rio Grande do Sul, onde em área de campo nativo estão instalados 10 funis plásticos, de 23 centímetros de diâmetro, coletores de água da chuva. A

quantificação do volume de água armazenado, bem como coleta de amostras compostas para determinação de pH, condutividade elétrica, nitrato, nitrito, amônia, fósforo, enxofre, cloro, cálcio, magnésio, potássio e cálcio foram realizadas quinzenalmente. A precipitação total ocorrida no período de setembro de 2006 a agosto de 2007 foi de 1605,79 mm, sendo 13,56% maior que a média para a região. O pH médio da água da chuva foi 6,59, sendo o menor valor o de 5,66 e este não é considerado como de ocorrência de chuva ácida. A condutividade elétrica média foi 52, 84. O sódio apresentou concentração média de 2,52 mg/L; o potássio 1,07 mg/L; o cálcio 1,15 mg/L, o magnésio 0,17 mg/L, o nitrato 0,13 mg/L de N; o nitrito 0,52 mg/L de N; a amônia 1,14 mg/L de N, o fósforo 0,66 mg/L; o enxofre 0,19 mg/L; e o cloro 1,60 mg/L. O aporte de nutrientes ao sistema agroflorestal em estudo, via precipitação pluviométrica, ocorreu na seguinte magnitude: Na > Cl > N > K > Ca > S > P > Mg; 3) Características químicas da solução do solo em um sistema agroflorestal no sul do Rio Grande do Sul, onde se teve por objetivo avaliar quimicamente a solução do solo, em duas diferentes profundidades (30 cm e 80 cm), em quatro diferentes tratamentos. Para a coleta das amostras, foram utilizados lisímetros (8 em cada profundidade e em cada tratamento), acionados por bombas de vácuo (através de timers), a cada 4 horas, permanecendo ligados durante 10 minutos. As amostras de solução do solo foram coletadas a cada quinze dias e encaminhadas para análise de: pH, condutividade elétrica, sódio, potássio, cálcio, magnésio, fosfato, sulfato, cloreto, nitrito, nitrato e amônia. O comportamento da solução do solo, nas diferentes profundidades e diferentes tratamentos, apresenta-se bastante variável, considerando o tipo de cultura envolvida (eucalipto solteiro, campo nativo ou sistema agroflorestal); 4) Este capítulo teve por objetivos demonstrar um resumo parcial da biogeoquímica do sistema agroflorestal em estudo, mostrando a distribuição dos macronutrientes na biomassa acima do solo e no solo. Para tanto, foram considerados como entradas no sistema, a poeira e precipitação pluviométrica e a adubação realizada nas culturas agrícolas, sorgo e girassol e para o eucalipto. Através de um esquema, demonstrou-se todas as frações e partes que serão avaliados nesse sistema agroflorestal nos 7 anos de duração desse estudo. Os cálculos foram realizados com base nas análises realizadas em laboratório, das amostras de água da chuva e dos tecidos vegetais; para o cálculo dos nutrientes no solo, utilizou-se a análise de solo realizada para o mesmo. No presente estudo, foi possível quantificar as entradas de macronutrientes, a absorção dos mesmos pelas culturas e o conteúdo destes no solo; futuramente; será possível quantificar as entradas provenientes do gotejamento das copas, precipitação interna, escoamento pelo tronco e serapilheira. Também será possível avaliar a lixiviação, com base nos dados provenientes da solução do solo coletados através de

lisímetros já instalados. As entradas de nitrogênio totalizaram 179, 76 kg ha⁻¹ pela precipitação e adubação; o fósforo totalizou 74, 31 kg ha⁻¹ pela precipitação e adubação, o potássio via precipitação e adubação totalizou 79, 37 kg ha⁻¹, o cálcio via precipitação e adubação totalizou 14,12 kg ha⁻¹ e o magnésio via precipitação e adubação totalizou 2,09 kg ha⁻¹. O solo apresenta 432, 49 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 63,61 kg ha⁻¹ de fósforo, 1.656 kg ha⁻¹ de potássio, 65.250 kg ha⁻¹ de cálcio e 5.439,60 kg ha⁻¹ de magnésio.

Palavras-chave: sistema agroflorestal, entrada de nutrientes via precipitação, características químicas da solução do solo.

ABSTRACT

Doctor`s Thesis
Post-Graduation Program in Forest Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

NUTRITIONAL ASPECTS IN AN AGROFORESTRY SYSTEM WITH EUCALYPTUS IN SOUTH BRAZIL

AUTHOR: FRANCINE NEVES CALIL

ADVISER: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Date and Place of Presentation: Santa Maria, May, 16th, 2008.

This study was conducted at an experimental area at Aroeira Farm, belonging to Votorantim Celulose e Papel company, under the geographic coordinates 31° 45' 50.7" S e 53° 50' 34.9" W, located in Candiota county. In the area there is an experimental field, where some production factors involved in an agroforestry system are being monitored, with four different treatments (T 1 = eucalyptus planted in 3 m x 2 m spacing; T2= native grass; T3 agroforestry system planted in double line and T4 – agroforestry system planted in triple line). Because of this, this study was divided in four chapters, that are: 1) Biomass and nutrients in the agroforestry components in the south of Rio Grande do Sul, Brazil, where the above ground biomass from eucalyptus, sorghum and sunflower was quantified, as well as the nutrients in it. As above ground biomass, sorghum showed a total of 9.876 kg ha⁻¹ (17,67% in the leaves, 47,74% in the stem and 34,61% in grains. In sunflower, the total biomass above the ground was 11.968 kg ha⁻¹ (21,62% in blossom, 24,03% in the leaves, 21,32% in grains and 22,03% in the stem). Eucalyptus total above ground biomass totalized 10.974 kg ha⁻¹ (45,28% in wood, 26,31% in branches, 19,96% in leaves and 8,45% in bark). The total amount of nutrients in sorghum followed this magnitude for total: C > N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Al > Na > Mn. In sunflower the total amount followed this magnitude: C > K > N > Ca > Mg > P > S > Na > Fe > Al > Mn. In eucalyptus the magnitude for total was: C > N > Ca > K > Mg > P > S > Na > Mn > Al > Fe; 2) Inputs through precipitation in área in south Rio Grande do Sul, Brazil, where in native grass area are installed 10 plastic rain gauges (23 cm of diameter). The volume quantification as well as the composed sampling collections for pH, electrical conductivity, nitrate, nitrite, ammonium, phosphorus, sulphur, chlorine, calcium, magnesium, potassium and calcium analysis were collected every fifteen days. The total precipitation during the studied period was 1.605,79 mm, being 13, 56% higher than the

average for the region (from September, 2006 to August, 2007). The average pH was 6,59, being the lowest value as 5,66 and this is not considered as acid rain. The average electrical conductivity was 52,84. Sodium showed an average concentration of 2,52 mg/L; potassium 1,07 mg/L; calcium 1,15 mg/L; magnesium 0,17 mg/L; nitrate 0,13 mg/L of N; nitrite 0,52 mg/L of N; ammonium 1,14 mg/L of N; phosphorus 0,66 mg/L; sulphur 0,19 mg/L, and chlorine 1,60 mg/L. The input through rain precipitation followed this magnitude: Na > Cl > N > K > Ca > S > P > Mg; 3) Soil solution chemical characteristics in an agroforestry system in south Rio Grande do Sul, where the objective was to chemically evaluate the soil solution, in two different depths (30 cm and 80 cm), in four different treatments (T1 = eucalyptus planted in 3 m x 2 m spacing; T2= native grass; T3 agroforestry system planted in double line and T4 – agroforestry system planted in triple line). For sampling collections, lisimeters were used (8 in each depth and in each treatment), accionated by vacuum pumps (through timers), every four hours, kept turned on for 10 minutes. The soil solution samples were collected every fifteen days and sent to pH, electrical conductivity, nitrate, nitrite, ammonium, phosphorus, sulphur, chlorine, calcium, magnesium, potassium and calcium analysis. Soil solution behavior, in different depths and different treatments, showed to be highly variable, considering the kind of crop involved; 4) This chapter had as objective to demonstrate a partial summary from the biogeochemical in the agroforestry system studied, showing the macronutrients distribution in above ground biomass and in the soil. For this, as inputs, it was considered the rain and dust and also fertilizations done for sorghum, sunflower and eucalyptus. Through a scheme, all the fraction and parts that would be evaluated in these system during the 7 years of this study. The calculations were based on the water precipitation samples and on vegetal tissues analysis; for soil calculations it was used the soil analysis. In this study it was possible to quantify the macronutrients inputs and its absorption through the crops and also the amounts of these nutrients in soil; next year it is going to be possible to quantify the nutrients inputs through stem flow, internal precipitation and litter. The runoff is also going to be calculated through soil solution samples collected through lisimeters already installed in the field. The inputs of nitrogen totalized 179,76 kg ha⁻¹ through precipitation and fertilization; phosphorus totalized 74,31 kg ha⁻¹ through precipitation and fertilization, potassium through precipitation and fertilization totalized 79,37 kg ha⁻¹, calcium 14,12 kg ha⁻¹ and magnesium 2,09 kg ha⁻¹. Soil had 432,49 kg ha⁻¹ of nitrogen, 63,61 kg ha⁻¹ of phosphorus, 1.656 kg ha⁻¹ of potassium, 65.250 kg ha⁻¹ of calcium and 5.439,60 kg ha⁻¹ magnesium.

Key-words: agroforestry system, nutrients input through rain, soil solution chemical characteristics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Localização do município de Candiota, RS. (Fonte: Wikipedia, 2007).....	55
Figura 3.2 – Panorama geral da área experimental. Candiota, RS.	56
Figura 3.3 – Vista da área experimental. Fonte: Google Earth.....	56
Figura 3.4 – Perfil de solo da área de estudo.....	57
Figura 3.5 – Esquema dos tratamentos utilizados na área experimental.	59
Figura 4.1 – Distribuição percentual da biomassa acima do solo na cultura do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>), safra 2006 em sistema agroflorestal, Candiota-RS.....	65
Figura 4.2 – Distribuição percentual da biomassa acima do solo na cultura do girassol (<i>Helianthus annuus</i>) em sistema agroflorestal com <i>Eucalyptus urograndis</i> , safra 2007. Candiota, RS.....	66
Figura 5.1 – Funis coletores de água da chuva, instalados na área de campo nativo.....	82
Figura 5.2 – a) Quantificação do volume de chuva armazenado; b) coleta das amostras de água da chuva.	83
Figura 5.3 – Precipitação (mm) observada na área de estudo, no período de setembro de 2006 a agosto de 2007, Candiota – RS.....	84
Figura 5.4 – Precipitação pluviométrica (mm) e pH da água da precipitação pluviométrica coletada em área de campo nativo, Candiota-RS.	85
Figura 5.5 – Variação da condutividade elétrica da água da chuva, coletada em área de campo nativo – Candiota, RS.....	87
Figura 5.6 – Concentrações médias de sódio (Na) encontradas na água da chuva, em área de campo nativo – Candiota, RS.	90
Figura 5.7 – Comparação entre as concentrações médias de sódio, em área de campo nativo, em três estudos semelhantes e em três localidades diferentes no estado do Rio Grande do Sul.	90
Figura 5.8 – Concentrações médias de potássio (K) na água da chuva, coletada na área de campo nativo, Candiota- RS.....	92
Figura 5.9 – Comparação entre as concentrações médias de potássio, em três estudos semelhantes e em três localidades diferentes, no estado do Rio Grande do Sul.	92
Figura 5.10 – Concentrações médias de cálcio (Ca) na água da chuva na área de campo nativo. Candiota – RS.....	94
Figura 5.11 – Concentrações médias de magnésio (Mg) na água da chuva em área de campo	

nativo – Candiota, RS.....	95
Figura 5.12 – Concentrações médias de nitrogênio, analisado na forma de nitrato, na água da chuva em área de campo, Candiota – RS.	97
Figura 5.13 – Concentrações médias de nitrogênio, analisados na forma de nitrito, na água da chuva, coletada em área de campo nativo, Candiota – RS.....	98
Figura 5.14 – Concentrações médias de nitrogênio, analisadas na forma de amônia, na água da chuva, coletada em área de campo nativo, Candiota-RS.....	99
Figura 5.15 – Concentrações médias de fósforo na água da chuva em área de campo, Candiota – RS.	100
Figura 5.16 – Concentrações médias de enxofre na água da chuva, coletada em área de campo nativo, Candiota-RS.	101
Figura 5.17 – Concentrações médias de cloro na água da chuva, coletada na área de campo nativo, Candiota – RS.....	102
Figura 5.18 – Entrada total de nutrientes, via precipitação pluviométrica (kg ha^{-1}), no sistema agroflorestal estudado, no período de setembro de 2006 a agosto de 2007, Candiota – RS..	104
Figura 6.1 – a) Lisímetro posicionado a 30 cm de profundidade; b) Lisímetro posicionado a 80 cm de profundidade.	114
Figura 6.2 – Abertura dos orifícios para a colocação dos lisímetros.....	115
Figura 6.3 – Abertura das valas para colocação dos canos de PVC.	115
Figura 6.4 – Canos de PVC posicionados nas valas.....	116
Figura 6.5 – Aspecto da mangueira com capilar no interior do tubo de PVC.....	116
Figura 6.6 – Caixa contendo garrafas coletoras de solução do solo, microbombas de vácuo e timer.....	117
Figura 6.7 – Coleta de amostras da solução do solo armazenada nos coletores.	118
Figura 6.8 – Condutividade elétrica da solução do solo a 30 cm de profundidade, nos quatro tratamentos avaliados.	120
Figura 6.9 – Condutividade elétrica da solução do solo a 80 cm de profundidade, nos 4 tratamentos avaliados.	121
Figura 6.10 – Concentrações de sódio na solução do solo a 30 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos analisados.	122
Figura 6.11 – Concentrações de sódio na solução do solo a 80 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos avaliados.....	122
Figura 6.12 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo no Tratamento 1 (eucalipto solteiro em espaçamento 3 m x 2 m).	125

Figura 6.13 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo, em duas diferentes profundidades no Tratamento 2 (campo nativo).....	125
Figura 6.14 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo, em duas diferentes profundidades no Tratamento 3 (Sistema agroflorestal com eucalipto plantado em duas linhas).....	126
Figura 6.15 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo, em duas diferentes profundidades no Tratamento 4 (Sistema agroflorestal com eucalipto plantado em t linhas).	126
Figura 6.16 – Concentrações de magnésio na solução do solo a 30 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos estudados.....	130
Figura 6.17 – Concentrações de magnésio na solução do solo a 80 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos estudados.....	130
Figura 6.18 – Nitrogênio total nas amostras de solução do solo nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3 e T4) a 30 cm de profundidade.	131
Figura 6.19 – Nitrogênio total nas amostras de solução do solo nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3 e T4) a 80 cm de profundidade.	132
Figura 6.20 – Concentrações médias de enxofre na solução do solo coletada a 30 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos estudados.	133
Figura 6.21 – Concentrações médias de enxofre na solução do solo coletada a 80 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos estudados.	133
Figura 7.1 – Esquema parcial da biogeoquímica do sistema agroflorestal	140

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Características físicas e químicas do solo analisado na área experimental, antes da instalação do experimento.	58
Tabela 4.1 – Distribuição percentual dos componentes da biomassa acima do solo de <i>Eucalyptus urograndis</i> , aos 16 meses.....	66
Tabela 4.2 – Distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos da cultura do sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>) (kg ha ⁻¹), safra 2006, Candiota-RS.....	69
Tabela 4.3 – Distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos da cultura do girassol (<i>Helianthus annuus</i>) (kg ha ⁻¹), safra 2007, Candiota – RS.....	70
Tabela 4.4 – Distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos da cultura do eucalipto (<i>Eucalyptus urograndis</i>) (kg/ha), aos 18 meses.....	70
Tabela 4.5 – Comparação entre as médias dos nutrientes e seus componentes nos diferentes tratamentos com componente arbóreo.....	73
Tabela 4.6 – Relação C/N nos diferentes compartimentos constituintes do SAF analisados, Candiota – RS.....	74
Tabela 5.1 Concentrações máxima, mínima e média dos nutrientes na água da precipitação pluviométrica coletada na área de estudo.	103
Tabela 6.1 – Variação do pH da solução do solo nas duas diferentes profundidades analisadas e nos quatro diferentes tratamentos.	119
Tabela 6.2 Comportamento das concentrações (mg/L) de cálcio na solução do solo, a 30 cm e 80 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos estudados.....	128

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	20
1.1 Referências bibliográficas.....	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Gênero Eucalyptus	24
2.2 Girassol	27
2.3 Sorgo	28
2.4 Hidrologia florestal	30
2.5 Relações hídricas	32
2.6 Água na solução do solo	34
2.7 Biomassa	38
2.8 Nutrientes	40
2.9 Sistemas agroflorestais	43
2.10 Referências bibliográficas.....	48
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL	55
3.1 Caracterização da área de estudo	55
3.2 Clima.....	56
3.3 Solo	57
3.4 Definição dos tratamentos	58
3.5 Referências bibliográficas.....	59
4. BIOMASSA E NUTRIENTES NOS COMPONENTES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL	60
4.1 Introdução	61
4.2 Material e Métodos	63
4.2.1 Amostragem da biomassa e quantificação dos nutrientes	63
4.2.2. Quantificação do estado nutricional e da biomassa do eucalipto.....	64
4.3 Resultados e Discussão	64

4.3.1 Biomassa	64
4.3.1.1 Sorgo.....	64
4.3.1.2 Girassol.....	65
4.3.1.3 Eucalipto.....	66
4.4. Conteúdo de nutrientes	68
4.4.1 Sorgo	68
4.4.2 Girassol.....	69
4.4.3 Eucalipto.....	70
4.5 Estado nutricional do eucalipto.....	71
4.6 Relação C/N das culturas envolvidas no sistema agroflorestal (SAF)	74
4.7 Conclusões	75
4.8 Referências bibliográficas.....	75
5. ENTRADA DE NUTRIENTES VIA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM ÁREA NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.....	78
5.1 Introdução	79
5.2 Material e Métodos	82
5.2.1 Funis coletores de água da chuva.....	82
5.2.2 Análises químicas.....	83
5.2.3 Quantificação da entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica.....	83
5.3 Resultados e discussão.....	84
5.3.1 Precipitação pluviométrica total coletada na área de estudo.....	84
5.3.2 Caracterização dos elementos que entram no sistema via precipitação pluviométrica	85
5.3.2.1 O pH da água da chuva.....	85
5.3.2.2 Condutividade elétrica.....	87
5.3.3 Nutrientes na água da chuva.....	89
5.3.3.1 Sódio (Na)	89
5.3.3.2 Potássio (K)	91
5.3.3.3 Cálcio (Ca).....	93
5.3.3.4 Magnésio (Mg)	95
5.3.3.5 Nitrogênio (N)	96
5.3.3.6 Fósforo (P).....	100
5.3.3.7 Enxofre (S)	100
5.3.3.8 Cloro (Cl).....	101

5.3.4 Características gerais.....	102
5.4 Aporte de nutrientes pela precipitação pluviométrica	104
5.5 Conclusões	107
5.6 Referências bibliográficas.....	108
6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA SOLUÇÃO DO SOLO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL	111
6.1 Introdução	112
6.2 Material e Métodos	114
6.2.1 Instalação dos lisímetros para a coleta de solução do solo	114
6.2.2 Coleta das amostras	117
6.3 Resultados e discussão.....	118
6.3.1 O pH da solução do solo	118
6.3.2 Condutividade elétrica da solução do solo	120
6.3.3 Sódio na solução do solo	122
6.3.4 Potássio na solução do solo.....	124
6.3.5 Cálcio na solução do solo.....	127
6.3.6 Magnésio na solução do solo	129
6.3.7 Nitrogênio na solução do solo.....	131
6.3.8 Enxofre na solução do solo	132
6.3.9 Fósforo na solução do solo.....	134
6.4 Conclusões	134
6.5 Referências bibliográficas.....	134
7. RESUMO PARCIAL DA BIOGEOQUÍMICA DO SISTEMA AGROFLORESTAL, MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA E NO SOLO.....	136
7.1 Introdução	137
7.2 Material e métodos.....	138
7.3 Resultados e discussão.....	141
7.3.1 Eucalipto.....	141
7.3.2 Sorgo	142
7.3.3 Girassol.....	142
7.4 Conclusões	142
7.5 Referências bibliográficas.....	143

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os benefícios sócioeconômicos, ao país, gerados pelas florestas plantadas, são muitos, mas freqüentemente eles acabam sendo subjugados pela questão da polêmica ambiental das florestas plantadas, principalmente em relação à água (CREA, 2007).

As florestas plantadas sempre estiveram na mira de discussões acaloradas em vários países do mundo, em função de seus possíveis efeitos sobre os recursos hídricos, principalmente no que diz respeito ao consumo de água. Tais discussões, longe de terminarem, atingiram atualmente uma dimensão nova e muito significativa (LIMA, 2006).

A produção de madeira pela floresta plantada de eucalipto tem como benefício a disponibilização de matéria-prima para a própria sociedade poder utilizar produtos considerados indispensáveis à sua felicidade: papel, carvão, lenha, móveis, habitações, alimentos, óleos essenciais, etc. Ao obter madeira de plantações, essa mesma sociedade diminuirá a pressão sobre as matas naturais, como era o modelo extrativista do passado. O novo modelo de produção florestal baseado em plantações é relativamente recente. Por isso, não é tão grande a área de plantações existentes no planeta (FOELKEL, 2007).

Grandes áreas de florestas nativas estão sendo preservadas do uso comercial e plantios de eucalipto estão sendo estabelecidos para fornecer madeira para suprir a necessidade mundial (RINGROSE & NEILSEN, 2005).

Os plantios de eucalipto têm evoluído rapidamente nos últimos anos, com a adoção de práticas sustentáveis de manejo florestal, que hoje, inclusive, são objeto de certificação independente. Um dos grandes feitos da pesquisa florestal no Brasil foi o desenvolvimento de uma tecnologia silvicultural de florestas plantadas, reconhecida no mundo todo (SILVA, 2005).

Um ponto polêmico em torno do eucalipto, é que as plantações, em geral, são monoculturas, assim como os grandes plantios de soja e café. É importante ressaltar as vantagens que o eucalipto apresenta em relação a essas outras culturas, a grande diferença é o ciclo de cultivo. Enquanto o ciclo da soja ou do milho, por exemplo, precisa ser renovado a cada período, o eucalipto só precisa ser replantado a cada seis ou oito anos. Esse tempo maior é garantia de maior sustentabilidade do solo. Nas florestas plantadas, o solo é menos exposto às longas exposições de luz e altas temperaturas, sobretudo em solos mais velhos ou intemperizados, uma vez que as florestas agem como um protetor solar para o solo (SIF, 2007).

Os efeitos da exploração irracional podem ser previstos apenas através do conhecimento de parâmetros ecológicos funcionais e principais, como o ciclo dos bioelementos em ecossistemas naturais. Pesquisa nesta área é fundamental para uma profunda evolução das práticas de manejo dos solos e, conseqüentemente, para a própria utilização dos recursos naturais (Likens apud ARCOVA et al. 1985).

Kaimowitz (2004) afirma que um inacreditável número de informações continuam desconhecidas sobre como as florestas afetam as bacias hidrográficas. Uma afirmação que já é de conhecimento com certa clareza é a de que as florestas ajudam a manter a água limpa. Os solos sob plantios florestais geralmente erodem menos e funcionam como um filtro que ajuda a remover metais e outros compostos químicos. As árvores também agem como barreiras físicas que mantêm pessoas e animais longe da água.

O consumo de água pelas florestas de eucalipto sempre tem sido um assunto controverso, apesar das inúmeras pesquisas que já foram e que estão sendo realizadas. Hoje, praticamente todas as empresas líderes que plantam florestas para fins industriais possuem microbacias hidrográficas experimentais para monitoramento, tanto das quantidades como das qualidades das águas que entram e saem desses ecossistemas (FOELKEL, 2007).

Evans (1992), em ampla revisão sobre as plantações florestais existentes no mundo, cita os benefícios sociais e econômicos que justificam a sua grande expansão e assinala que no Brasil as áreas plantadas com florestas de rápido crescimento totalizavam em 1965 cerca de 500.000 hectares e passaram a ocupar 3.855.000 hectares em 1980 e 7.150.000 hectares em 1990.

Em termos silviculturais, desde o início do século, o conceito de sustentabilidade significa assegurar e, em certos casos, até aumentar a produtividade da floresta. Esse conceito tem como princípio básico que a colheita não pode exceder à capacidade produtiva do sítio, sendo a floresta considerada como uma unidade individual de manejo (SCHLICH, 1925).

Segundo Poggiani et al. (1998), as florestas plantadas constituem-se em uma forma apropriada do uso do solo, são menos impactantes do que qualquer outra cultura intensiva; entretanto, precisam estar em harmonia com as prioridades ecológicas e sociais da região. Ecologicamente constituem-se em áreas de sucessão secundária, controlada e dirigida pelo silvicultor e mantida sempre na fase juvenil de elevada produtividade. É importante o papel que as florestas de rápido crescimento desempenham na captura do CO₂ atmosférico, atenuando o efeito estufa, visto que, por exemplo, o armazenamento de carbono de uma árvore em fase ativa de crescimento corresponde aproximadamente a 45% do peso total da madeira do tronco.

Os benefícios gerados pelos sistemas agroflorestais dividem-se nos aspectos biológicos e econômicos. Dentre os aspectos biológicos, deve-se considerar a otimização na utilização do espaço; melhoramento das características químicas, físicas e biológicas do solo; produção total obtida é geralmente maior que a produzida em monoculturas; maior facilidade de se adaptar a manejo agroecológico; redução do risco de perda total da cultura principal; permite o uso econômico da sombra. Com relação aos aspectos econômicos e sociais, considera-se: fornecimento de uma maior variedade de produtos e/ou serviços da mesma área de terra; distribuição mais uniforme do serviço e da receita gerada na propriedade, entre outros.

Segundo Santos & Ribaski (2007), entre os benefícios gerados pelos SAFs, destaca-se o melhor controle da temperatura, da umidade relativa do ar e da umidade do solo. Numerosos estudos mostram que a quantidade de matéria orgânica é mais alta na camada superficial dos solos debaixo de árvores do que em áreas abertas.

É de consenso que os SAFs promovam a ciclagem de nutrientes mais eficiente do que a que ocorre em lavouras e pastagens tradicionais sem árvores. O uso dos SAFs vem sendo testado na recuperação de áreas degradadas, tais como áreas desmatadas e áreas erodidas pela água da chuva, áreas de baixa fertilidade e mal drenadas, áreas secas com solos com camadas duras, áreas de encostas, áreas de pousio e áreas de pastagens degradadas com cobertura vegetal deficiente, entre outras.

Este trabalho teve por objetivos principais: analisar quali e quantitativamente a água da chuva que atinge a área em estudo; analisar qualitativamente a solução do solo em duas diferentes profundidades e em quatro diferentes tratamentos; quantificar a biomassa das culturas agrícolas envolvidas no sistema agroflorestal, bem como os conteúdos de nutrientes contidos nessa biomassa; e organizar um resumo parcial da biogeoquímica do sistema agroflorestal, mostrando a distribuição dos macronutrientes na biomassa e no solo.

1.1 Referências bibliográficas

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V.; LIMA, W.P. Balanço dos nutrientes Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ e NO_3^- em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, S.P. **IPEF**, n.31, p. 61-67. 1985

CREA – Conselho em Revista. Setembro de 2007. Ano IV, n. 37. In: Florestas plantadas e água: conflito ambiental ou ausência de políticas sadias de uso da terra. Walter de Paula Lima. p. 31.

EVANS, J. Plantation forestry in the tropics: tree planting for industrial, social, environmental and agroforestry purposes. 2. Ed. Oxford: Clarendon Press, 1992. 403 p.

FOELKEL, C. As florestas plantadas de eucaliptos e o consumo de água. **Eucalyptus online book**. Disponível em : www.ipef.br. Acessado em 19/11/2007.

KAIMOWITZ, D. Forests and water: a policy perspective. **The Japanese Forestry Society and Springer-Verlang**, v. 9. p. 289-291. 2004.

LIMA, W.P. Efeitos hidrológicos do manejo de florestas plantadas. In: As florestas plantadas e água. Orgs: Lima, W.P & Zákia, M.J. Rima: São Carlos, 2006.

POGGIANI, F.; STAPE, J.L.; GONÇALVES, J.L.M.. Indicadores de sustentabilidade da produção florestal. **Série Técnica IPEF**, v.12, n.31., p. 33 – 44. 1998.

RINGROSE, C.; NEILSEN, W.A.. Growth response of *Eucalyptus regnans* and soil changes following periodic fertilization. **Soil Sci. Soc. Am.** , 69:1806 – 1812 (2005).

SANTOS, V.P.; RIBASKI, J. Sistema silvipastoril: Integração de competências para a competitividade do agronegócio brasileiro. Disponível em: www.ambientebrasil.com.br/noticias. Acessado em 21/05/2007.

SCHLICH, W. Manual of forestry management. 5 ed. London: Bradbury, 1925. V.3, 383 p.

SIF. Sociedade de Investigações Florestais. Jornal SIF. Edição Especial. N. 82. Ano 14. Disponível em: <http://www.sif.org.br/site/scripts/?conteudo=9&sessao=2>. Acessado em 04/01/2008.

SILVA, J.C. Cresce presença do eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira**, n. 92, 2005.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gênero Eucalyptus

O eucalipto é originário da Austrália e outras ilhas da Oceania, foi trazido para Brasil na segunda metade do século XIX com o objetivo de ajudar na produção de dormentes para as linhas férreas que se instalavam no país. Hoje, temos a maior área plantada de eucaliptos do mundo (mais de 3 milhões de hectares), somos o maior produtor mundial da celulose (cerca de 6,3 milhões de toneladas por ano) e alcançamos o maior índice médio de produtividade (40m³ por hectare ao ano). O eucalipto brasileiro se destina basicamente à produção de celulose e papel e ao carvão que abastece as siderúrgicas. As indústrias brasileiras que usam o eucalipto como matéria prima para a produção de papel, celulose e demais derivados representam 4% do nosso PIB, 8% das exportações e geram aproximadamente 150 mil empregos (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005).

O eucalipto oferece diversas vantagens em comparação a outras espécies florestais utilizadas no mundo para a produção de celulose, inclusive as nativas. Graças ao clima favorável do Brasil e ao avanço alcançado pelas empresas florestais em pesquisa e tecnologia florestal, o eucalipto pode ser colhido em apenas 7 anos para a produção de celulose, quando atinge até 35 metros de altura; apresentando o dobro da produtividade de espécies coníferas plantadas no Brasil e da maioria das árvores nativas. É uma árvore bastante versátil e com inúmeras aplicações industriais. Algumas espécies são utilizadas para a produção de celulose; de outras, são extraídos óleos essenciais com os quais são fabricados produtos de limpeza, alimentícios, perfumes e remédios; com a madeira, tradicionalmente, são produzidas tábuas, sarrafos, lambris, ripas, vigas e postes, entre outros (ARACRUZ, 2005).

O eucalipto é plantado, atualmente, em quase todo o mundo, por ser uma planta que possui espécies diversificadas em condições de clima e solo. A maioria das espécies plantadas no Brasil apresenta um crescimento rápido, produz grande quantidade de madeira e subprodutos e tem fácil adaptação. O eucalipto é considerado uma cultura recuperadora de solo. Por ter raízes profundas, ele busca, nas camadas inferiores do solo, nutrientes minerais que já estão fora do alcance de raízes superficiais. Por esse motivo, o eucalipto pode controlar a erosão do solo e também ocupar áreas que são impróprias para a agricultura. Além disso, serve de matéria-prima para diversas finalidades como marcenaria, apicultura, papel e celulose etc (REMADE, 2006).

Por ser uma árvore de crescimento rápido – a indústria da celulose trabalha com ciclos de plantação entre cinco e sete anos – e de fácil adaptação às mais diferentes condições de clima e solo, o eucalipto passou a ser uma alternativa racional contra a devastação das florestas nativas em diversas regiões do planeta. A destruição já consumiu 46% das matas originais que cobrem a superfície terrestre. O desmatamento foi provocado, principalmente, pela agricultura, pecuária e a comercialização da madeira. Agora, os plantios sustentáveis começam a ser usados em lugar de árvores centenárias no uso industrial e residencial (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005).

O consumo, cada vez maior, de produtos derivados da madeira faz com que haja uma crescente pressão sobre as florestas nativas. O corte dessas florestas tem sido feito sem critérios técnicos, pondo em risco a extinção de espécies vegetais de grande valor. A cultura do eucalipto, é uma opção para atender à demanda de madeira, teve grande impulso nesses últimos anos, graças à vasta rede experimental instalada por órgãos públicos e empresas privadas (Paiva et al. 2001).

A elevada utilização do eucalipto nos reflorestamentos brasileiros é favorecida pela boa adaptação da árvore, nas suas diferentes espécies, às nossas condições de clima e solo. O aumento da produtividade foi alavancado pelo melhoramento genético tradicional e a clonagem (Ministério da Ciência e Tecnologia, 2005).

Uma das críticas que se costuma fazer ao eucalipto é que ele precisa de muita água durante a fase de crescimento. Isto é desmentido por estudos recentes, que têm mostrado não haver muita diferença entre o consumo de água de diversas espécies florestais e o eucalipto. Isto também é verdade em comparação com a agricultura, pois o eucalipto apresenta consumo parecido com o do café e menor do que o da cana-de-açúcar. Em países com pouca disponibilidade de água, como Espanha, Itália, Israel e Marrocos, grandes áreas estão sendo usadas para o plantio de eucaliptos, sem problemas. No caso de Israel e Marrocos, grandes áreas estão sendo usadas para agricultura, depois do cultivo de eucalipto por períodos entre 20 e 30 anos (FIBRA, 2003).

De acordo com Dourojeami (2005), foi constatado e confirmado que, quando cultivado em condições extremas, especialmente com largos períodos de déficit hídrico no solo, algumas espécies são extraordinariamente bem sucedidas na captação de água, reduzindo a dotação desta para outras plantas. Sabe-se ainda, que outras espécies de eucalipto podem eliminar plantas competidoras por outros métodos. Essa capacidade faz com que o eucalipto, nessas condições de clima, não seja uma boa opção em pendentes ou outras situações onde existe a possibilidade de erosão dos solos. Porém, a única coisa que essas

habilidades indicam é que o eucalipto é uma planta com boa capacidade de superar condições extremas do meio. Além disso, trata-se de uma planta muito resistente a pragas e enfermidades, de rápido crescimento e altamente produtiva.

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam elevada eficiência nutricional em razão de sua maior capacidade de retranslocação de nutrientes em relação a outras espécies florestais, especialmente coníferas (Attiwill, 1980, Crane & Raison (1981), Reis & Barros (1990) apud Oliveira Neto et al. (2003). Além desta característica, a capacidade de adaptação a situações de déficit hídrico apresentadas por algumas espécies desse gênero tem possibilitado que os plantios sejam implantados na região dos cerrados, onde os solos apresentam baixa fertilidade e o clima provoca pronunciado déficit hídrico. Porém, a produtividade dessas florestas pode ser consideravelmente aumentada com a adubação (Ballard (1984), Balloni (1984), Barros et al. (1990), Novais et al. (1990) apud Oliveira Neto et al. (2003) e com a adoção de espaçamentos que permitem o uso adequado dos nutrientes, da água e das radiações lumínicas (Reis & Reis (1993), Gomes (1994), Bernardo (1995) apud Oliveira Neto et al. (2003).

Pesquisas independentes já mostraram os efeitos benéficos do eucalipto sobre diversas propriedades do solo, como estrutura, capacidade de armazenamento de água, drenagem e aeração, entre outras. A remoção de nutrientes (Nitrogênio – N, Fósforo – P, Potássio – K e Cálcio – Ca) para eucalipto com 8 anos foi de 110, 11, 95 e 50 kg/ha/ano, respectivamente; enquanto que a cana-de-açúcar removeu 208, 22, 200 e 153 kg/ha/ano, respectivamente (Leite, 2005).

De acordo com Paiva et al. (2001), os trabalhos relacionados com a produção de celulose vêm, principalmente destacando as espécies de eucalipto. As mais citadas são: *Eucalyptus Alba*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus dunnii*. Além dessas espécies, hoje têm-se utilizado muitos de seus híbridos, que combinam boas características de crescimento com excelentes características industriais, como por exemplo, o *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (chamado vulgarmente de urograndis).

A adaptação da espécie ao clima do local de plantio é de fundamental importância, pois mesmo conhecendo a potencialidade da espécie para determinado fim, sua adaptação às condições climáticas do local determinará o sucesso ou, não do empreendimento. Os fatores climáticos que afetam o desenvolvimento de uma floresta são a temperatura, a umidade relativa do ar, a precipitação média anual e a luz, não podendo, na maioria das vezes, separá-los. Espécies, e mesmo indivíduos dentro da mesma espécie, podem desenvolver mecanismos

capazes de suportar uma grande variação nas condições climáticas. Entretanto, a regra é que espécies adaptadas a climas quentes ou frios, raramente se adaptam a condições opostas (Paiva et al. (2001).

2.2 Girassol

Os primeiros cultivos comerciais de girassol no Rio Grande do Sul foram feitos no final da década de 1940. Não tiveram muito sucesso, pois as cultivares não eram adaptadas à região, sendo, conseqüentemente, pouco produtivas e suscetíveis a doenças. Colaboraram para o insucesso desses primeiros cultivos a falta de estímulos do mercado e a semeadura de outubro/novembro, que é adequada para o Uruguai, Argentina e Chile, tradicionais produtores de girassol do Cone Sul, mas não para o Rio Grande do Sul (Dall’Agnol et al., 1984).

O termo girassol (*Helianthus annuus* L.) explica não só o nome comum como o nome botânico da planta, tendo em vista que o gênero deriva do grego *helios*, que significa sol, e de *anthus*, que significa flor, ou “flor-do-sol”, sendo portanto, uma referência à característica da planta de girar sua inflorescência, seguindo o movimento do sol (Castro & Farias, 2005).

O consumo de água pelo girassol varia em função das condições climáticas, da duração do ciclo e do manejo do solo e da cultura. A necessidade de água para o girassol vai aumentando com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0,5 a 0,7 mm/dia durante a fase da semeadura à emergência, para um máximo de 6 a 8 mm/dia, na floração e no enchimento de grãos, decrescendo após esse período até a maturação fisiológica (Castro & Farias, 2005).

O girassol é uma cultura que pode ser inserida em sistemas de rotação de culturas e também de integração lavoura-pecuária, apresentando como principal benefício seu grande potencial como planta recicladora de nutrientes, uma vez que apresenta bom desenvolvimento, boa produção de matéria seca tanto da parte aérea quanto do sistema radicular e baixa taxa de exportação de nutrientes (Oliveira et al., 2005).

O desempenho de uma lavoura de girassol de elevado potencial produtivo está diretamente relacionado ao manejo adequado da fertilidade do solo, considerando o sistema de rotação e sucesso de culturas, além dos fatores ambientais, como a distribuição de água uniforme durante o ciclo da cultura (Oliveira et al. 2005).

2.3 Sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma planta adaptada ao processo de ensilagem, devido às suas características fenotípicas que determinam facilidade de plantio, manejo, colheita e armazenamento, aliadas ao alto valor nutritivo, sua alta concentração de carboidratos solúveis, essenciais para uma adequada fermentação láctica, bem como aos altos rendimentos de massa seca por unidade de área (Neumann et al. 2002a, Silva & Restle 1993). As novas cultivares disponíveis atualmente no mercado têm alta produtividade, resistência às doenças e boa estabilidade de produção (capacidade da planta de se adaptar às mudanças climáticas), diminuindo riscos de perda para o produtor. Existem os sorgos forrageiros de ciclos médio e curto, bem como os graníferos tardios e médios. O plantio do sorgo forrageiro deve ocorrer do início das chuvas até meados de dezembro. Para variedades graníferas, esse período pode se estender até meados de março. A densidade das plantas varia de acordo com a cultivar utilizada (EMBRAPA, 2007).

O *Sorghum bicolor* é originário da África Subtropical ou Tropical. É uma gramínea anual, com colmos eretos, dispostos em forma de touceira e suculentos; folhas com 25 a 50 mm de largura e 50 a 100 cm de comprimento: A inflorescência é uma espiga terminal, contraída ou não, com curtas ramificações. É uma planta de clima temperado e tropical, com ciclo vegetativo curto que se adapta a solos medianos e arenosos. Sua sinonímia, em outros países, é Sorghum (United States, Austrália), durra (África), jowar (Índia), bachanta (Etiópia). Resiste melhor à seca que o milho. A geada não lhe causa problemas, devido ao seu ciclo curto. O pastejo não é aconselhável, quando muito novo. Há dezenas de variedades no mercado brasileiro, procurando atender a todos tipos de necessidades.

O sorgo forrageiro de porte alto caracteriza-se pela alta produção de massa verde por hectare, com menor proporção de grãos (em torno de 10% de grãos na matéria natural). As variedades de porte médio apresentam produções intermediárias de grãos, entre 20% e 30% de grãos (White et al. 1991).

Zago (1991), analisando a estrutura física da planta de sorgo, constatou que as porcentagens de colmo e de panícula são características agronômicas que consistentemente se correlacionam com variáveis de qualidade, como digestibilidade da matéria seca (MS) e fibra em detergente ácido (FDA), com o ganho de peso médio diário e consumo de matéria seca.

A cultura do sorgo, no Brasil, apresentou avanço significativo a partir da década de 70. Nesses poucos mais de 30 anos, a área cultivada tem mostrado flutuações, em decorrência da

política econômica, tendo a comercialização como principal fator limitante. Atualmente, a cultura tem apresentado grande expansão (20% ao ano, a partir de 1995), principalmente, em plantios de sucessão a culturas de verão, com destaque para o Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e região do Triângulo Mineiro, onde se concentram aproximadamente 85% do sorgo granífero plantado no país. Existe a expectativa de plantio de 850.000 ha, para a atual safra, com base na estimativa de sementes comercializadas e em vias de comercialização. Essa área poderá ser responsável pela produção de 1.700.000 t de grãos. Projeções feitas sobre o potencial de expansão da cultura indicam aumento de até seis vezes da área plantada, ainda nesta década, sem risco de excesso de oferta.

O sorgo é uma planta C4, de dia curto e com altas taxas fotossintéticas. A grande maioria dos materiais genéticos de sorgo requerem temperaturas superiores a 21° C para um bom crescimento e desenvolvimento. A planta de sorgo tolera mais, o déficit de água e o excesso de umidade no solo, do que a maioria dos outros cereais e pode ser cultivada numa ampla faixa de condições de solo. Durante a primeira fase de crescimento da cultura, que vai do plantio da germinação até a iniciação da panícula (EC1) é muito importante a rapidez da germinação, emergência e estabelecimento da plântula, uma vez que a planta é pequena, tem um crescimento inicial lento e um pobre controle de plantas daninhas nesta fase pode reduzir seriamente o rendimento de grãos. Embora não exista dados concretos disponíveis, acerca de como os estádios iniciais da cultura pode afetar o rendimento, é lógico pensar que um bom estande, com rápida formação de folhas e sistema radicular tornará aquela cultura apta a enfrentar possíveis estresses ambientais durante o seu ciclo. Os híbridos de maneira geral tem uma formação de folhas e sistema radicular mais rápidos do que linhagens ou variedades. Quando se compara materiais forrageiros, principalmente variedades, estas são mais lentas que os graníferos. (Magalhães et. al. 2007)

No Brasil, as zonas de adaptação da cultura se concentram no Sul (região de fronteira) em plantios de verão, no Brasil Central em sucessão a plantios de verão e no Nordeste em plantios nas condições do semi-árido com altas temperaturas e precipitação inferior a 600 mm anuais. Atualmente, tem sido verificado grande expansão do cultivo do sorgo, principalmente, em plantios de sucessão em algumas regiões, com destaque para o Estados de São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Região do Triângulo Mineiro, onde se concentram aproximadamente 85% do sorgo granífero plantado no Brasil.

A planta do sorgo se adapta a uma gama de ambientes, principalmente, sob condições de deficiência hídrica, desfavoráveis à maioria de outros cereais. Essa característica permite

que a cultura seja apta para se desenvolver e se expandir em regiões de cultivo com distribuição irregular de chuvas e em sucessão a culturas de verão.

O potencial de rendimento de grãos de sorgo, normalmente, pode ultrapassar as 10t/ha e 7 t/ha, respectivamente, em condições favoráveis no verão e em plantios de sucessão. Entretanto, as condições em que predominantemente o sorgo se desenvolve não possibilitam a expressão de todo o seu potencial uma vez que a produtividade média alcançada nas lavouras está em torno de 2,5 t/ha. O uso de cultivares adaptadas aos sistemas de produção em uso e às condições de ambiente encontradas nas regiões de plantio, com planejamento e manejo adequado, constituem fatores de grande importância para a obtenção de rendimentos elevados, para a expansão da cultura, para o aumento da oferta de grãos e estabilidade de produção.

2.4 Hidrologia florestal

Segundo Lima (2007), a hidrologia é uma ciência multidisciplinar pelo fato que ela integra conceitos de várias outras ramificações do conhecimento humano: física, química, biologia, hidráulica, matemática, estatística, etc. Dependendo do ambiente particular de estudo da água e de sua circulação, a hidrologia pode ser diferenciada em hidrometeorologia (água na atmosfera), potamologia (água dos rios), limnologia (água nos lagos), cirologia (geleiras), oceanologia (oceanos), pedohidrologia (água do solo), hidrogeologia (água subterrânea).

Calder et al. (1992) e Lima (1992) afirmam que a quantidade necessária de água durante o ciclo da cultura de eucalipto é de 800 a 1200 mm, enquanto que para milho e feijão é de 400 a 800 mm e 300 a 600 mm, respectivamente.

Quando se analisa o balanço de água numa floresta, deve-se levar em conta a interceptação, evaporação, transpiração e escoamento superficial da água. A maioria das críticas ao eucalipto é relativa à transpiração. Mesmo dentre as diferentes espécies do gênero *Eucalyptus*, existem diferenças marcantes. O *Eucalyptus camaldulensis*, espécie muito plantada no cerrado mineiro, onde a deficiência hídrica é elevada, apresenta uma transpiração muito baixa, quando comparada com *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus pelita*. (REMADE, 2003).

Leite (2005) afirma que comparações feitas entre espécies de eucalipto e outras espécies florestais mostram que os plantios de eucalipto no Brasil consomem a mesma quantidade de água que as florestas nativas. Sua maior eficiência no aproveitamento da água garante maior produtividade quando comparado a outras culturas agrícolas (com 1 litro de água produz-se 2,9 gramas de madeira de eucalipto; com a mesma quantidade de água

produz-se apenas 1,8 gramas de açúcar, 0,9 grama de grãos de trigo e 0,5 grama de grãos de feijão).

A hidrologia florestal trata do movimento da água em ambientes de floresta, sejam naturais ou de plantações de espécies de crescimento rápido. O balanço de água nestes ambientes depende da precipitação, da interceptação de água pelo dossel, do escoamento lateral e em profundidade (drenagem profunda) e da evapotranspiração. Com exceção da precipitação, os demais processos são bastante influenciados pela densidade de plantas, pelo tipo de solo, pelo comportamento fisiológico da planta e pela estrutura e arquitetura do dossel (Almeida e Soares, 2003).

A hidrologia florestal trata das relações floresta-água. É, desta forma, o ramo da hidrologia que trata dos efeitos da floresta sobre o ciclo da água, incluindo os efeitos sobre a erosão e a qualidade da água nas bacias hidrográficas. O conjunto de conhecimentos da hidrologia florestal é muito útil para nortear as atividades florestais (Lima, 2007).

Soares & Almeida (2001) desenvolveram um modelo de uso de água em plantações de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) que indicou que em anos em que chove em torno da média histórica da região (aproximadamente 1350 mm) existe equilíbrio entre evapotranspiração e precipitação. Os autores também verificaram que o eucalipto exerce controle estomático eficiente sobre a transpiração durante a estação seca. Uma versão do modelo foi também adaptada para a floresta nativa, assumindo a parametrização compatível com a da floresta nativa da Floresta Amazônica.

Em 1996, o Brasil possuía cerca de 5 milhões de hectares de plantações de eucalipto (Rogick, 1996). O eucalipto é um gênero de muita importância econômica, mas que ainda gera controvérsias sobre seus possíveis efeitos negativos sobre o ambiente especialmente relacionados ao consumo de água e ao esgotamento de nutrientes do solo (Almeida & Riekerk, 1990; Poggiani & Schumacher, 1997; Lima 1996 apud Câmara e Lima (1999)).

Câmara & Lima (1999) em estudo com corte raso de uma plantação de eucalipto de 50 anos, realizado de forma gradativa, sem o uso intenso de máquinas, com a preservação da mata ciliar e da serapilheira depositada sobre o solo, comprovam que estas medidas podem reduzir os impactos do corte raso sobre a produção e a qualidade da água em uma microbacia. Contudo, alguns parâmetros da qualidade da água foram afetados por esta operação, o que indica a necessidade de outras medidas para que se mantenham os níveis mais próximos daqueles observados nas condições de cobertura florestal não perturbada.

Almeida & Soares (2003) compararam o uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil e concluíram que as plantações de eucalipto exercem controle estomático eficiente em condições de baixa disponibilidade de água no solo. As medidas de campo, bem como as estimativas realizadas a

partir dos modelos, revelaram que as plantações de eucalipto se comparam à Mata Atlântica quanto à evapotranspiração e ao uso de água do solo. Considerando o ciclo de crescimento como um todo (cerca de 7 anos), o eucalipto pode consumir menos água que a mata nativa. Em anos de precipitação em torno dos valores médios das normais climatológicas, ocorre equilíbrio entre oferta (precipitação) e demanda (evapotranspiração) para os dois ecossistemas. Em anos de menor precipitação, as reservas hídricas do solo são utilizadas tanto para o eucalipto quanto para a Mata Atlântica. A Mata Atlântica apresentou taxas de evapotranspiração muito próxima às obtidas para a Região Amazônica.

2.5 Relações hídricas

Marengo & Lopes (2005) afirmam que a água é a substância mais abundante e uma das mais importantes na superfície da Terra, pela sua essencialidade para a existência da vida nas suas diferentes formas. A água é fundamental para a manutenção da integridade funcional de moléculas biológicas, células, tecidos e organismos. Ecologicamente, a água é de importância vital. Como a temperatura, a água é fator determinante para a distribuição das plantas na superfície da Terra.

Borges & Mendiondo (2007) afirmam que o movimento permanente de água na Terra sob a ação da gravidade e da energia solar, forma o chamado ciclo hidrológico. Os principais componentes desse ciclo são precipitação, infiltração, escoamento superficial, evaporação e transpiração, os quais, juntos, mais a ação antrópica, se integram dinamicamente por todo o planeta; entretanto, nas últimas décadas o desenvolvimento das atividades agrícolas e industriais tem causado alterações, em termos de quantidade e qualidade no ciclo hidrológico.

O conteúdo de água na planta varia em função das flutuações de umidade do solo e do ar e das taxas de transpiração das plantas. O teor hídrico das plantas diminui quando as taxas de transpiração excedem as de absorção de água (Marengo & Lopes, 2005).

As chuvas, portanto, constituem importante fonte de nutrientes para os ecossistemas florestais (Wetsellar & Hutton (1963), Attiwill (1966), Flinn et al. (1979), Lewis (1981), Pehl & Ray (1983), Swank & Henoerson (1976) apud Lima (1985).

Lima (1985) em estudo com a ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em cerradão, evidenciou que o pH médio anual da água da chuva foi de 6,0. Nas parcelas com pinheiros tropicais o pH médio foi de 5,8, e na de cerradão foi de 5,9. Dentro das parcelas florestadas, ou seja na precipitação interna o valor médio mais baixo ocorreu no mês de julho, pico da estação seca e época normal de queimadas na região canavieira que circunda a área. Segundo Flinn et al (1979) o acúmulo de óxidos de nitrogênio e de enxofre liberados na queima

da vegetação e captados pelas copas das árvores podem ser responsáveis pelo abaixamento do pH da água da chuva interceptada pela vegetação.

Ao interagir com as copas das árvores, a água da chuva arrasta quantidades apreciáveis de nutrientes, fenômeno esse referido como lavagem (Camargo, 1968). Este processo desempenha papel significativo na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, e tem sido quantitativamente estudado em vários países e em vários tipos de florestas (Lima & Barbin, 1975).

Mina (1967) concluiu que a água do escoamento pelo tronco mostrou ter efeito sobre o solo através do aumento da acidez (tanto trocável como hidrolítica) e também pelo aumento do conteúdo de Al e Fe móveis. Também concluiu que este efeito é localizado e se restringe a cerca de 30-50 cm de raio a partir do caule e numa profundidade de 1m aproximadamente.

Nem toda a quantidade de nutrientes resultante da lixiviação representa, todavia, adição nova ao solo. Parte é devida ao chamado ciclo biogeoquímico de nutrientes, ou seja, resulta da retirada, pela água, de metabólitos lábeis de folhas das árvores, devolvendo-os ao solo. A outra parte resulta da lavagem das partículas secas captadas pelas copas das árvores, durante a estiagem e, nesse sentido, representa uma contribuição extra de nutriente ao solo (Johnson & Swank, 1973).

Almeida & Soares (2003) compararam o uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na Costa Leste do Brasil e concluíram que as plantações de eucalipto exercem controle estomático eficiente em condições de baixa disponibilidade de água no solo. As medidas de campo, bem como as estimativas realizadas a partir dos modelos, revelaram que as plantações de eucalipto se comparam à Mata Atlântica quanto à evapotranspiração e ao uso de água do solo. Considerando o ciclo de crescimento como um todo (cerca de 7 anos), o eucalipto pode consumir menos água que a mata nativa. Em anos de precipitação em torno dos valores médios das normais climatológicas, ocorre equilíbrio entre oferta (precipitação) e demanda (evapotranspiração) para os dois ecossistemas. Em anos de menor precipitação, as reservas hídricas do solo são utilizadas tanto para o eucalipto quanto para a Mata Atlântica. A Mata Atlântica apresentou taxas de evapotranspiração muito próximas às obtidas para a Região Amazônica.

Estando a precipitação intimamente relacionada com a composição química do ar atmosférico, as diferenças observadas decorrerão devido à época em que a avaliação se procedeu (Hellman et al., 1982; Forti & Moreira-Nordemann, 1991); das proximidades de zonas industriais, centros urbanos ou regiões marítimas (Silva Filho, 1985; Pompéia, 1998).

2.6 Água na solução do solo

Solução do solo é a água que ocupa partes dos espaços vazios existentes nos solos que contém elementos químicos, muitos dos quais indispensáveis ao crescimento vegetal. Estes elementos são advindos das reações da água com os sólidos do solo, que são fortemente influenciadas por suas concentrações, tanto na água quanto no solo (Brandão & Lima, 2002).

A solução do solo representa o local predominante de ocorrência das reações químicas no solo e o meio natural de crescimento das plantas, além de abrigar as frações químicas dos elementos imediatamente disponíveis no ambiente (Wolt apud Zambrosi, 2004).

De acordo com Chaves et al. (1991), a disponibilidade dos íons para as raízes das plantas é controlada por várias reações, tais como: equilíbrio entre ácido e base, complexação iônica, precipitação e dissolução de sólidos, oxidação, redução e trocas iônicas. A cinética dessas reações e a taxa de absorção biológica controlam a concentração do íon na solução do solo.

Berton apud Zambrosi (2004) afirma que a solução aquosa contida no espaço poroso do solo é um sistema dinâmico aberto, cuja composição é uma consequência das inúmeras reações que podem ocorrer simultaneamente entre as três fases que constituem o solo (líquida, sólida e gasosa), as quais variam tanto com o tempo, quanto com o espaço. Um sistema tão complexo assim é de difícil reconstituição em qualquer experimentação de laboratório, mas, sendo assim, muitos estudos podem ser feitos com aplicação de princípios químicos.

Brady (1983), descreve que a solução do solo é excessivamente mutável, variando tanto no volume existente, quanto na proporção e quantidade de seus componentes solúveis, dependendo aí do tipo de solo e das condições de drenagem e umidade. Regiões costeiras que possuem influência da salinidade do mar e regiões de clima mais seco apresentam maior concentração de sais, podendo atingir nível prejudicial aos vegetais, enquanto em áreas de maiores índices pluviométricos e de boa drenagem, a concentração de sais é sempre menor.

Reichardt (1990) afirma que o solo é um sistema complexo, constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos. As partículas sólidas formam um arranjo poroso tal que os espaços vazios, denominados poros, têm a capacidade de armazenar líquidos e gases.

A circulação da água no solo é uma das centrais da física do solo, constituindo o seu conhecimento o ponto de partida para o estudo dos solutos. A gestão da água e dos sais nas camadas superiores do solo e a sua interação com a atividade das plantas foi durante anos preocupação quase exclusiva das ciências agrárias. A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo. O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (Paixão et al., 2004).

Duas forças contribuem para a retenção de água no solo: a adesão, ou atração das moléculas de água pelas partículas sólidas, e a coesão, ou atração entre as próprias moléculas de água (Marengo & Lopes, 2005).

Os mesmo autores acima citados, afirmam que a água do solo pode ser classificada em quatro tipos, conforme a força com que é retida pelas partículas do solo: água de constituição, higroscópica (AH), capilar (AC) e gravitacional (AG). A água de constituição está integrada às partículas sólidas do solo, ou seja, faz parte dos vários constituintes dessas partículas. A água higroscópica é aquela ligada fortemente às partículas sólidas do solo. A água capilar é a retida nos poros capilares e microcapilares, comportando-se de acordo com as leis que regem a capilaridade. A água gravitacional é retida passageiramente no solo, pois, com a gravidade, irá mover-se para fora das regiões das raízes.

Hillel (1971) afirma que a água no solo, como outros corpos na natureza, pode conter energia em diferentes quantidades e formas. A física clássica reconhece duas principais formas de energia: cinética e potencial.

O solo é importante porque fornece a água e os minerais essenciais para o crescimento das plantas. Entretanto sua qualidade para o crescimento das plantas depende de sua aptidão para o crescimento das raízes e sua capacidade de fornecer água e elementos minerais essenciais. O solo consiste de várias frações de rochas e matéria orgânica que formam a matriz sólida, e ar e água que ocupam vários poros. Além disso, contém organismos vivos tais como bactérias, fungos, algas, protozoários, minhocas, insetos e raízes que direta ou indiretamente afetam sua estrutura e composição gasosa. Um bom solo agrícola ou florestal geralmente contém de 40 a 60% ocupado por poros, dos quais aproximadamente metade é completada com água que contém os minerais dissolvidos e gases que constituem a solução do solo (Kozlowski et al. 1991).

A absorção de elementos químicos das plantas dá-se a partir da solução do solo (Rajj, 1991). O conhecimento da composição química da solução do solo fornece subsídios importantes para o entendimento das alterações físicas e químicas advindas do uso e manejo e para monitoramento das várias práticas de melhoramento do solo (Simard et al.; Campbell et al. apud Miranda et al. 2006).

Os possíveis efeitos do eucalipto sobre a água do solo e a água subterrânea têm sido um dos aspectos importantes da controvérsia sobre os impactos ambientais do eucalipto; a retirada da água do solo pelas plantas depende, em primeiro lugar, da configuração do sistema radicular. Por outro lado, como resultado da absorção da água pelas raízes finas, um gradiente de potencial acaba por se desenvolver entre a região imediatamente ao redor dessas raízes e as demais partes do perfil do solo, induzindo, dessa forma, a difusão da umidade do solo em direção às raízes finas (Lima, 1996).

A concentração de nutrientes minerais na solução do solo varia bastante, dependendo

de fatores como: umidade do solo, pH, capacidade de troca de cátions (CTC), quantidade de matéria orgânica no solo, atividade microbiana e aplicação de fertilizantes. A concentração é um indicador da mobilidade dos nutrientes em direção às raízes ou na direção vertical (Marschner, 1986).

A concentração na solução do solo, particularmente dos cátions, é altamente influenciada pelo pH e, dependendo do cátion, também pelo potencial redox. Com a queda no pH, a concentração de micronutrientes como o manganês, ferro, zinco e cobre aumenta em diversos graus (Sims & Patrick; Herms & Brümmer ; Sanders apud Marschner, 1986).

O pH é um importante indicador das condições químicas do solo, por possuir capacidade de interferir na disposição de vários elementos químicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, favorecendo ou não suas liberações (Brandão & Lima, 2002).

Brady (1983) afirma que o pH, quando em condições muito ácidas, isto é, abaixo de 4,5, pode resultar em dissolução de alguns elementos como ferro, alumínio e manganês em proporções tais que podem tornar-se tóxicos, dificultando o desenvolvimento de algumas plantas. Quando o pH se encontra muito elevado, isto é, acima de 8, o ferro, o manganês e o zinco se tornam menos assimiláveis ao vegetal, também interferindo no seu desempenho.

A condutividade elétrica é usada para medir a quantidade de sais presentes em solução do solo. Quanto maior a quantidade de sais presente na solução, maior será o valor da condutividade elétrica (Brandão & Lima, 2002).

De acordo com Tomé Jr (1997), o excesso de sais na zona radicular, independentemente dos íons presentes, prejudica germinação, desenvolvimento e produtividade das plantas. Isso por que uma maior concentração da solução exige da planta um maior dispêndio de energia para conseguir absorver água, prejudicando seus processos metabólicos essenciais.

O mesmo autor supracitado, em estudo de nutrientes na solução do solo, em Floresta de Terra Firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira, concluiu que a composição química da solução do solo apresentou diferenças significativas, principalmente para as bases Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . Nas coletas semanais, o íon nitrato apresentou a quantidade mais elevada ($2,67 \text{ kg ha}^{-1}$), em janeiro de 1994 (época chuvosa). Quando as médias foram agrupadas por períodos, a média mais elevada ($2,60 \text{ kg ha}^{-1}$) foi registrada no período seco. Porém, as medidas de nitrato na solução do solo, para os três períodos climáticos, não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

De acordo com Swarowsky et al. (2006), ao se fazer uma análise da mobilidade dos elementos magnésio, cálcio e sódio, pode-se constatar que o magnésio é mais facilmente

lixiviado que o cálcio. Entretanto, o cátion encontrado em maior quantidade nas águas de lixiviação é o cálcio.

UCR (2007) afirmam que os íons hidrogênio, advindos da água da chuva, substituem o elemento no solo. Para cada unidade de ácido adicionado ao solo, uma equivalente quantia de nutrientes é removida. Como resultado, mais nutrientes são retirados do solo do que aportados via decomposição de rocha de origem ou precipitação

Walling apud Arcova et al. (1985) afirma que a qualidade da água do deflúvio é função de uma série de interações com o solo, rocha e biota da bacia hidrográfica, sendo necessário considerá-las no espaço e no tempo para a sua completa compreensão.

Conforme Sopper (1975), as bacias hidrográficas florestadas não-perturbadas geralmente são consideradas como mananciais de elevada qualidade de água. A cobertura florestal promove a proteção contra erosão, sedimentação e lixiviação de nutrientes, além da regularização do regime de vazão.

Brady (1983), descreve que a solução do solo é excessivamente mutável, variando tanto no volume existente, quanto na proporção e quantidade de seus componentes solúveis, dependendo do tipo de solo e das condições de drenagem e umidade. Regiões costeiras que possuem influência da salinidade do mar e regiões de clima mais seco apresentam maior concentração de sais, podendo atingir nível prejudicial aos vegetais, enquanto em áreas de maiores índices pluviométricos e de boa drenagem, a concentração de sais é sempre menor.

Reichardt (1990) afirma que o solo é um sistema complexo, constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos. As partículas sólidas formam um arranjo poroso tal que os espaços vazios, denominados poros, têm a capacidade de armazenar líquidos e gases.

A circulação da água no solo é uma das centrais da física do solo, constituindo o seu conhecimento o ponto de partida para o estudo dos solutos. A gestão da água e dos sais nas camadas superiores do solo e a sua interação com a atividade das plantas foi durante anos preocupação quase exclusiva das ciências agrárias. A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo. O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (PAIXÃO et al., 2004).

Duas forças contribuem para a retenção de água no solo: a adesão, ou atração das moléculas de água pelas partículas sólidas, e a coesão, ou atração entre as próprias moléculas de água (MARENCO & LOPES, 2005).

Os mesmos autores acima citados afirmam que a água do solo pode ser classificada em quatro tipos, conforme a força com que é retida pelas partículas do solo: água de constituição, higroscópica (AH), capilar (AC) e gravitacional (AG). A água de constituição está integrada às partículas sólidas do solo, ou seja, faz parte dos vários constituintes dessas partículas. A água higroscópica é aquela ligada fortemente às partículas sólidas do solo.

O solo é importante porque fornece a água e os minerais essenciais para o crescimento das plantas. Entretanto sua qualidade para o crescimento das plantas depende de sua aptidão para o crescimento das raízes e sua capacidade de fornecer água e elementos minerais essenciais. O solo consiste de várias frações de rochas e matéria orgânica que formam a matriz sólida, e ar e água que ocupam vários poros. Além disso, contém organismos vivos tais como bactérias, fungos, algas, protozoários, minhocas, insetos e raízes que, direta ou indiretamente afetam sua estrutura e composição gasosa. Um bom solo agrícola ou florestal geralmente apresenta de 40 a 60% ocupado por poros, dos quais aproximadamente metade é completada com água que contém os minerais dissolvidos e gases que constituem a solução do solo (KOZLOWSKI et al., 1991).

2.7 Biomassa

Os ecossistemas florestais, de acordo com Gardner & Mankin (1981) contêm cerca de 90% da biomassa da terra e cobrem aproximadamente 40% de sua superfície.

Segundo Kozlowski et al. (1991), a taxa de acumulação de biomassa é muito menor que a taxa potencial. Esta diferença é resultado das baixas taxas fotossintéticas das árvores, perdas de carboidratos através da respiração, sombreamento de partes das plantas e consumo de tecido das plantas por animais, fungos e organismos decompositores. Grande porção de reservas produzidas pela fotossíntese é utilizada na respiração e torna-se indisponível para incorporação em tecidos vegetais. Perdas de carboidratos através da respiração são estimadas em aproximadamente 58% da produção primária líquida em árvores de pinus com 14 anos e 65% em florestas tropicais.

A biomassa e o crescimento das árvores dependem, entre outros fatores, da qualidade do sítio, textura e disponibilidade de nutrientes no solo, das características climáticas e da altitude na qual está localizado o povoamento (Kadeba apud Saidelles 2005).

Para Soares et al. (1996), como a determinação da biomassa dos diversos componentes de todas as árvores em um povoamento florestal é inviável ou, às vezes, impraticável, torna-se

necessária a utilização de métodos estimativos que impliquem a derrubada de algumas árvores para o ajuste de modelos e equações, visando obter estimativas da biomassa do povoamento.

A biomassa dos componentes das árvores distribuiu-se na seguinte ordem decrescente: lenho>casca>galho>folhas, observando que a percentagem dos componentes varia com a espécie (Drumond et al., 1997).

No que se refere aos fatores que afetam a produção de biomassa arbórea, Spurr & Barnes *apud* Campos (1991) comentam que a acumulação de biomassa é diferente em cada local onde é medida, refletindo uma variação cuja causa são diversos fatores ambientais e fatores inerentes à própria planta. Existe uma relação entre a biomassa e a produtividade primária, conhecida como relação de acumulação de biomassa. Essa relação é normalmente baixa em povoamentos jovens de rápido crescimento e é maior onde a maior parte da energia é utilizada para manter o alto estoque de biomassa existente.

Conforme Kramer & Kozlowski (1974), a acumulação de biomassa é afetada por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração.

Durante a fase inicial do desenvolvimento de uma floresta, uma grande parte de carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa. Entretanto, com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si, a produção relativa do tronco aumenta e a das folhas e ramos diminui gradativamente (Andrae, 1978; Schumacher, 1996).

Conforme estudo realizado por Schumacher (1995), o percentual de biomassa de copa e raízes de uma floresta de *Eucalyptus saligna* tende a diminuir com o passar do tempo.

Segundo Bellote & Silva (2000), o uso de modelos matemáticos para expressar o volume do tronco produzido pela árvore é prática rotineira em florestas homogêneas plantadas. Do mesmo modo, o emprego de modelos matemáticos, para a determinação dos pesos dos componentes casca, lenho, galho e folha, vem sendo proposto por diversos autores, entre eles Schönau (1981), Mitchel et al. (1981), Akachuka (1981), Ferreira (1984), Soares & Hosokawa (1984) e Reis et al. (1987). É possível estimar indiretamente, com grande precisão, a biomassa seca total de cada compartimento da árvore. Para que tais quantificações sejam fidedignas é importante que as medições dos parâmetros, altura e DAP utilizadas nessas estimativas sejam feitas com rigor.

2.8 Nutrientes

Os nutrientes movimentam-se basicamente através de três ciclos: o ciclo geoquímico, caracterizado pela transferência dos nutrientes entre o ecossistema e seus componentes externos, o ciclo biogeoquímico, caracterizado pela movimentação dos nutrientes entre solo-vegetação e o ciclo bioquímico, caracterizado pela redistribuição interna na planta (Switzer & Nelson 1972).

A nutrição de plantas envolve a absorção de todos os materiais brutos do ambiente que são necessários para os processos bioquímicos essenciais, a distribuição desses materiais dentro da planta e sua utilização no metabolismo e no crescimento. Mais de sessenta elementos químicos têm sido identificados nas plantas, incluindo ouro, prata, chumbo, mercúrio, arsênio e urânio. Obviamente, nem todos os elementos presentes nas plantas são essenciais. Sua presença é, de certo modo, um reflexo da composição do solo no qual as plantas estão crescendo. A maioria dos elementos químicos encontrados nas plantas são absorvidos como íons inorgânicos com base na solução do solo. (Raven et al. 2001).

A entrada de nutrientes no ecossistema por processos naturais se dá através da chuva, deposição de poeira e aerossóis, por fixação microbiológica, acima e abaixo do solo, e por intemperização da rocha matriz. As perdas, por sua vez, ocorrem pelo escoamento superficial da água, pela lixiviação profunda, volatilização e pelo deflúvio. A exportação de biomassa por outro lado, como é o caso da colheita florestal, pode aumentar significativamente estas perdas (Vital apud Câmara et al. 2000).

As principais fontes de entrada de nutrientes nos ecossistemas são os aportes atmosféricos, que incluem a precipitação, a deposição de poeira, deposição oculta a deposição orográfica, como também a intemperização das rochas minerais e a adubação (Bruijnzeel; Ranger; Turpault apud Voigtlander, 2007).

Nos ecossistemas florestais, os nutrientes são constantemente ciclados entre a biomassa e o solo, sendo que o processo de ciclagem depende das propriedades físico-químicas dos nutrientes e da sua função fisiológica, mas principalmente, do ciclo hidrológico que mantém os processos de lixiviação do solo e da biomassa, da disponibilidade no solo e da taxa de intemperismo, sendo o balanço de nutrientes do ecossistema a interação desses vários processos do meio (Flinn et al., 1979).

Smith apud Bellote & Silva (2000) afirma que folhas não são as únicas partes das plantas capazes de representar o estado nutricional das árvores, mas elas têm sido

recomendadas e utilizadas no monitoramento nutricional para a maioria dos elementos nutrientes. As concentrações de nutrientes de outras partes da árvore, tais como a madeira, a casca e o galho têm sido utilizadas para os cálculos de exportações e estudos de eficiência de utilização dos nutrientes.

As mesmas considerações feitas para a folha, em relação às variações nos teores de nutrientes, são válidas para a madeira, galho e casca. Devem-se considerar também as variações inerentes ao estágio de desenvolvimento do compartimento considerado, jovem, maduro ou senescente que afetam sensivelmente as concentrações de nutrientes.

Segundo Pritchett (1990), a absorção dos nutrientes pelas árvores é influenciada pela espécie, pela cobertura do dossel e pelas condições edafoclimáticas. Em princípio, a absorção anual de nutrientes é da mesma ordem da apresentada pelas culturas agrícolas, mas como a maior parte dos nutrientes absorvidos são devolvidos para o piso florestal, quantidades relativamente pequenas são retiradas no acréscimo anual da biomassa arbórea.

O acúmulo de nutrientes da biomassa arbórea, segundo Schumacher (1992), varia de elemento para elemento, em razão dos diferentes níveis de fertilidade do solo, das características nutricionais de cada espécie e da idade da floresta.

A ciclagem de nutrientes em florestas pode ser analisada por meio da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação das taxas de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos, pela produção de serapilheira, sua decomposição, lixiviação e outros. Podem ser considerados, por exemplo, como compartimentos da floresta: a biomassa aérea das árvores, a serapilheira, a biomassa das raízes, o solo, etc. (Poggiani & Schumacher, 2000). Bormann & Likens apud Schumacher & Poggiani (2000) explicam que os nutrientes de um ecossistema florestal encontram-se divididos em quatro compartimentos básicos: 1) o compartimento orgânico constituído pelos organismos vivos e seus restos; 2) o compartimento de nutrientes disponíveis (na solução do solo ou adsorvidos às superfícies do complexo argila-húmus); 3) o compartimento de minerais primários (nutrientes não-disponíveis), e 4) o compartimento atmosférico formado por gases e partículas em suspensão.

Os impactos ambientais também provocam alterações na ciclagem dos nutrientes. O desmatamento, além de provocar a degradação da vegetação e do solo, causa sérias alterações no microclima das florestas, interferindo na fixação, lixiviação e volatilização do N.

Os nutrientes são elementos químicos que tem ampla variedade de papéis no metabolismo das plantas; sem eles, as plantas não podem sobreviver. Há 15 elementos considerados essenciais para as plantas. As plantas retiram os nutrientes do solo através das

raízes finas que estão localizadas nas extremidades do sistema radicular. As raízes finas são tecidos vivos e não se transformam em madeira. Os nutrientes, para serem absorvidos pelas raízes finas, os mesmos devem estar dissolvidos na água que ocupa os espaços livres no solo. Tanto a água quanto os nutrientes são absorvidos pelas raízes finas (West, 2006).

Na colheita florestal, o tronco é o componente que mais contribui na exportação dos nutrientes do sítio. Segundo Silva (1996), o acúmulo total de nutrientes no tronco é crescente do 3º para o 7º ano, notadamente para os nutrientes Ca, K e P. O acúmulo desses nutrientes também foi observado por Pitman et al. apud Silva (1996), pelas análises em níveis subcelulares dos tecidos das árvores. Verificaram que tanto o K como o Ca são particularmente localizados em diferentes compartimentos das células em diferentes constituições químicas, sendo que o K é mais para o crescimento celular. O Ca tem maior importância na formação da parede celular e lignificação dos traqueídeos.

Para o N e o Mg, Silva (1996) observou uma diminuição no conteúdo desses elementos no tronco à medida que as árvores crescem, indicando uma possível migração desses nutrientes para os tecidos mais novos. As árvores, por adaptação a uma condição de estresse, também podem transferir nutrientes para tecidos que os armazenam, servindo como estoque estratégico.

Na casca, pode-se distinguir basicamente dois tipos de tecido: a casca externa (morta) e a casca interna (viva), onde está incluído o floema funcional. O floema é ativo na translocação de solutos orgânicos fotoassimilados dos pontos de produção (fonte) para os de consumo (dreno). A exemplo do que acontece no caule, os teores de nutrientes na casca variam ao longo do fuste, sendo crescente no sentido base – ápice Bellote & Silva (2000).

Bowen & Nambiar, (1984) concluíram que o *Eucalyptus grandis* aloca, na casca, 10% do N, 90% do P e 25% do K acumulados nas folhas, no entanto, pode acumular, na casca, de 39 a 48% do Ca existente na copa. Apesar de acumular menos nutrientes móveis, a casca os armazena na forma de compostos solúveis de N e proteínas que são fundamentais para o desenvolvimento de novos tecidos.

A biomassa de casca é significativamente menor do que a biomassa de tronco, no entanto, apresenta-se como um importante sítio de armazenamento de nutrientes, notadamente, o Ca. Os modelos matemáticos obtidos por Silva (1996), que estimam os conteúdos de nutrientes na casca, apresentaram coeficientes de determinação superiores a 0,97, o que confere precisão às estimativas dos conteúdos de nutrientes.

2.9 Sistemas agroflorestais

A agrossilvicultura é a ciência que estuda os sistemas agroflorestais. Sendo assim, os sistemas agroflorestais passam a ser objeto de estudos dessa ciência, ou seja, fazem parte do conjunto de atividades racionais e sistemáticas do conhecimento gerado pela ciência Agrossilvicultura (Vale, 2004).

De acordo com o mesmo autor supracitado, para o termo sistemas agroflorestais existem várias definições, porém a mais completa e objetiva delas pode ser a seguinte: são sistemas de uso da terra e dos recursos naturais que combinam a utilização de espécies florestais, agrícolas e, ou, criação de animais, numa mesma área, de maneira simultânea e, ou, escalonada no tempo.

Sistemas agroflorestais são sistemas de uso da terra nos quais árvores ou arbustos são cultivados em associação com culturas agrícolas, pastagem ou animais, onde há interações ecológicas e econômicas entre as árvores e os outros componentes.

A Embrapa Florestas define “Sistemas Agroflorestais” dessa forma: “um sistema de manejo sustentado da terra que aumenta o seu rendimento, combinando a produção de plantas florestais com cultivos agrícolas e/ou animais, simultânea ou consecutivamente, de forma deliberada, na mesma unidade de terreno, envolvendo práticas de manejo em consonância com a população local”.

O sistema agrosilvipastoril é uma modalidade integrada de uso da terra, onde espécies arbóreas e pastagem e animais ocupam o solo simultaneamente.

Segundo Thomas (1978) apud Castro (1996), os sistemas silvopastoris, uma variante dos sistemas agroflorestais, são associações de pastagens com cultivos arbóreos como essências florestais, frutíferas, leguminosas arbóreas ou plantas industriais, como o babaçu, dendezeiro e seringueiras. De acordo com Garcia (1997), a árvore é integrada ao sistema com o objetivo de aumentar a produtividade e qualidade da forragem e ainda promover a sustentabilidade do sistema.

Outra definição mais aprimorada é dada por Couto et al. (1998): em que os sistemas silvopastoris são modalidades dos sistemas agroflorestais que se referem às técnicas de produção nas quais se integram os animais, as pastagens e as árvores numa mesma área. Tais sistemas representam uma forma de uso da terra onde as atividades silviculturais e pecuárias são combinadas para gerar produção de forma complementar pela interação dos seus componentes.

Nesse contexto, os SAF – sistema de uso da terra em que as espécies florestais e não florestais são cultivadas simultaneamente ou em seqüência, em associações planejadas com cultivos anuais ou perenes e/ou pastagens (Serão apud Santos, Miranda & Tourinho, 2004) – freqüentemente são admitidos como uma das formas mais adequadas de desenvolvimento dos trópicos úmidos; junto com o manejo de florestas secundárias (capoeiras) e os reflorestamentos, surgem como alternativas viáveis do ponto de vista ambiental e econômico, capazes de contribuir na absorção de CO₂ e reduzir o efeito estufa. Segundo Osterroht (2002), entre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os SAF são aqueles que acumulam maior ativo de biomassa.

Conforme Roath e Krieger, apud Couto et al. (1998), a idéia de integrar animais em atividades florestais não é nova. Na região oeste dos Estados Unidos, a prática de se colocar os bovinos para realizar o pastejo em áreas de florestas nativas já vem sendo realizada há mais de 125 anos. Em vários Estados daquele país, muitas pesquisas foram conduzidas visando à utilização do sub-bosque como uma forma de aproveitamento pelos animais selvagens e domésticos, bem como controlar o desenvolvimento da vegetação herbácea que, em acúmulo, se torna um veículo propagador de incêndio nas florestas.

Segundo Garcia (1997), num sistema silvopastoril, existem três componentes individuais e básicos que o homem pode manejar de uma certa forma: as árvores, o sub-bosque e o rebanho animal. Cada um desses componentes requer cuidados e manejos específicos. A seleção da espécie arbórea, da forragem que compõe a pastagem e os animais que realizam o pastejo deve ser criteriosa, pois os efeitos interativos e os resultados da convivência aparecerão com o tempo. Conforme os mesmos autores, igualmente importante é o conhecimento das características socioeconômicas da comunidade e do mercado no qual os produtos do sistema poderão ser colocados. Como sustentador do sistema, tem-se o componente solo que poderá sofrer mudanças químicas e físicas em razão do manejo que será aplicado no sistema. Os autores também observam que o ecossistema silvopastoril se mantém num estado dinâmico e responde às variações dos fatores extrínsecos como o clima e pastejo que são aplicados. As interações entre os componentes são de grande importância, pois respondem pelo êxito do sistema e fornecem os pontos de intervenção para o manejo.

A região sul do Brasil detém aproximadamente 20% do rebanho bovino nacional, ocupando 21,4 milhões de hectares com pastagens, a maioria instalada a céu aberto. Não obstante, os indicadores tecnológicos da pecuária mostram um bom nível de manejo dos rebanhos, a produtividade está aquém de seu potencial técnico, por causa de fatores adversos como reduzida taxa de fertilidade, elevada mortalidade, acabamento tardio para abate, baixo

índice de desfrute, carência de alimentação nos períodos de entressafra e áreas de pastagens degradadas. Mesmo com o crescente estabelecimento de pastagens cultivadas, melhorias genéticas e rebanhos adaptados, a maioria dos fatores adversos estão associados a fatores climáticos, levando a desgaste excessivo dos animais (estresse) (Mazuchowski, J.Z. & Montoya, L. J., 1994).

Os mesmos autores, acima citados, observaram áreas de pasto nada ou pouco arborizadas. Entre os tipos de associação de floresta com pastagens, destacam-se os bosquetes de proteção, arborização em espaços largos e o sistema faxinal. A pesquisa vem incentivando a arborização de pastagens, indicando técnicas de proteção de mudas altas para plantio direto em presença do gado e na formação de bosquetes de proteção com mudas normais. Concomitante a tais modalidades de arborização vem-se tratando também da seleção de espécies florestais apropriadas às diferentes regiões bioclimáticas. Os resultados obtidos demonstraram que os sistemas silvopastoris se revelam de grande aplicabilidade em áreas de pecuária do sul. Tal fato é em razão da dimensão das superfícies ocupadas por pastagens e às possibilidades que a arborização representa em termos de serviços de proteção dos rebanhos animais contra extremos climáticos, diversificação na obtenção de produtos florestais e pecuários, além de repovoar de forma parcial, mas ordenada, áreas de pastagens a céu aberto.

Este sistema é mais racional do ponto de vista ecológico e econômico, pois permite aliar o aspecto conservacionista das florestas com o ciclo curto das culturas agrícolas.

De acordo com os pesquisadores Eduardo Mendonza e Maria Bertalot, os benefícios gerados pelos Sistemas Agroflorestais (SAFs), podem ser divididos em dois aspectos: biológico e socioeconômico:

Aspectos biológicos

1. 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).
2. Melhoramento das características químicas, físicas e biológicas do solo. Isso ocorre graças à decomposição e incorporação da matéria orgânica e penetração das raízes das árvores no solo. Os diferentes comprimentos de raízes existentes no solo, com a presença de árvores auxiliam também na redução potencial da erosão.
3. A produção total obtida de uma mistura de árvores e culturas agrícolas

ou criações de animais é freqüentemente maior que a produzida nas monoculturas.

4. Tem maior facilidade em se adaptar a um manejo agro-ecológico, à medida que a diversidade de espécies torna todo o sistema mais vigoroso, dispensando o uso de agrotóxicos e fertilizantes sintéticos.

5. Reduz o risco de perda total da cultura principal, já que os possíveis ataques de pragas e doenças são distribuídos entre várias espécies de plantas, diminuindo os danos à cultura de maior valor comercial.

Aspectos Econômicos e Sociais:

1. Fornecimento de uma maior variedade de produtos e/ou serviços da mesma área de terra. Estes produtos podem ser: alimentos, lenha, adubo verde, plantas medicinais e ornamentais, sombra, quebra-ventos e embelezamento da paisagem.

2. Promove uma distribuição mais uniforme do serviço e da receita gerada, devido a um trabalho contínuo e à obtenção de diversas colheitas.

3. A diversidade de produtos colhidos 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 uma única cultura.

Segundo Couto (1990) a agrossilvicultura são as formas de uso da terra que combinam com a agricultura, a silvicultura e o pastoreio, apresentam boas possibilidades de melhorar a produção, mantendo ao mesmo tempo a estabilidade ambiental.

Quando se pode optar entre diversas formas de manejo, geralmente elege-se aquela que oferece maior taxa de retorno econômico. Para o futuro deve-se também pensar nos aspectos sociais, ambientais e de aplicação dos recursos de produção de forma otimizada.

Uma tentativa para melhorar economicamente a situação do pequeno agricultor e com isso, extinguir o êxodo rural, pode ser a intensificação da exploração ou administração do fator biológico ou biótico. Assim, um aumento de produtividade através da mudança do sistema de produção ou o uso verticalizado da terra cultivada, cultivos intercalares ou sistema de produção agrossilvipastoril sem a intensificação do uso de capitais ou máquinas, pode aumentar a produção e, com isto, aumentar a renda do produtor rural.

Segundo Baggio et al. (1982) o proprietário rural pode, com a produção agrícola intercalar, cobrir custos de implantação de florestas e obter retorno líquido.

De acordo com Couto et al. (1986) os sistemas de produção silviagrícolas têm como vantagem principal a diluição dos custos de produção entre as culturas agrícolas e florestais. O eucalipto quando consorciado com soja na região de Bom Despacho – MG, não sofreu redução na produção e o consórcio proporcionou redução de custos, pois a capina não foi necessária e a cultura da soja teve uma produção igual à cultura solteira na região, com isso o custo de implantação foi grandemente reduzido.

Schreiner & Balloni (1986) observaram que o plantio consorciado de feijão com eucalipto proporcionou um aumento de até 25% na produção de madeira aos 35 meses de idade. Com a produção de feijão, segundo os autores, é possível ressarcir em curto prazo os encargos de plantio e manutenção dos povoamentos.

Lima (1996) afirma que o primeiro trabalho publicado sobre o uso de eucalipto em sistemas agroflorestais no país foi o de Gurgel Filho (1962) que testou diferentes densidades de plantio de milho intercalado entre fileiras de eucalipto, em região de cerrado do sul da região sudeste do país. O autor observou benefício mútuo para as espécies consorciadas para a densidade de uma fileira de milho, enquanto densidades maiores causaram algum prejuízo na produção.

O interplantio de soja com *Eucalyptus grandis* durante a fase inicial do crescimento das árvores foi estudado por Couto (1982) na região de cerrado em Minas Gerais. O eucalipto foi plantado em espaçamento de 3 x 2 metros e a soja foi semeada em densidades de três a cinco linhas de plantio entre as fileiras de árvores, simultaneamente. A produção de soja variou de 1500 a 2500 kg ha⁻¹, sendo considerada equivalente a produção média de soja cultivada em monocultura. A produção de eucalipto, todavia, foi maior do que a verificada na testemunha. (Lima, 1996)

O mesmo autor supracitado, descreve que outra forma de utilização do eucalipto em sistemas agroflorestais no Brasil está relacionada com o sistema silvopastoril de consorciação com o gado. Podem-se observar exemplos dessa prática em inúmeros povoamentos de eucalipto formados ao redor das casas e ao longo das pastagens em muitas propriedades rurais da parte centro-sul do país.

Serrão (1990) afirma que os sistemas agrossilvopastoris, como sistema integrado que inclui culturas agrícolas, espécies florestais e pastagem, constituem, talvez, a forma mais apropriada de cultivo. Em tais sistemas, os ganhos em eficiência podem advir de vários aspectos: agrônômico (melhoria das condições do solo), econômico (diversificação da produção), ecológico (melhoria da biodiversidade, da hidrologia e do microclima) e social (benefícios sociais diretos e indiretos).

2.10 Referências bibliográficas

AKACHUKA, A.E. Recovery and morphology of *Pinus resinosa* trees 50 years after they were displaced by a hurricane. **Forest Ecology and Management**. 56:113-129.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Árvore**, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

ANDRAE, F. H. **Ecologia florestal**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1978. 230 p.

ARACRUZ CELULOSE. Disponível em: < <http://www.aracruz.com.br>>. Acesso em 10 ago.2005.

ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V.; LIMA, W.P. Balanço dos nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+1} , K^{+1} e NO_3 em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha – SP. **IPEF**, n.31, p. 61-67, dez. 1985.

BAGGIO, A.J. Alternativas agroflorestais para recuperação de solos degradados na região Sul do País. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1992, Curitiba. Anais. Colombo: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1992. v. 1. P. 126-131.

BELLOTE, A.F.J. & SILVA, H.D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus* spp. In: GONÇALVES, J.L.M. & BENEDETTI, V., eds. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. p.105-133.

BORGES, A.C.; MENDIONDO, E.M. Comparação entre equações empíricas para estimativa de evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n. 3, p.293-300, 2007.

BOWEN, G.D., NAMBIAR, E.K.S. **Nutrition of plantation forests**. Great Britain: Academic Press. 1984. 516p.

BRADY, N.C. **Natureza e Propriedades dos Solos**. Biblioteca Universitária Freitas Bastos. 1983. 6ª. Edição.

BRANDÃO, S.L.; LIMA, S.C. pH e condutividade elétrica em solução do solo em áreas de *Pinus* e Cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**. 3(6). Junho/2002.

CALDER, I.R.; SWAMINATH, M.H.; KARIYAPPA, G.S.; SRINIVASALU, N.V.; SRINIVASA MURTY, K.V.; MUMTAZ, J. Measurements of transpiration from *Eucalyptus* plantation, India using deuterium tracing. In: Calder, I.R., Hall, R.L. and Adlard, P.G. Editors, 1992. Proc. Int. Symp.on the Growth and Water Use of Forest Plantations. Bangalore, 7-11. February, 1992. P. 196-215.

CÂMARA, C.D., LIMA, W.P. Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre o balance hídrico e a qualidade da água em uma microbacia experimental. **Scientia Forestalis**, n.56, p. 41-58, 1999.

CÂMARA, C.D., LIMA, W.P., VIEIRA, S. A. Corte raso de uma plantação de *Eucalyptus saligna* de 50 anos: impactos sobre a ciclagem de nutrientes em uma microbacia experimental. **Scientia Forestalis** n.57, p. 99-109, 2000.

CAMARGO, O.N. **Absorção foliar e lavagem de nutrientes nas plantas**. Piracicaba. ESALQ-USP, 1968. 123 p, (Boletim didático, 20).

CAMPOS, M.A.A. **Balço de biomassa e nutrientes em povoamentos de *Ilex paraguariensis*. Avaliação na safra e na safrinha**. Curitiba, 1991. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, 1991

CASTRO, R.T.C. **Tolerância de gramíneas forrageiras tropicais ao sombreamento**. Viçosa, 1996, 247 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

CASTRO, C.; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R.M.V.B.C; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, Embrapa Soja, 2005. p. 163 – 218.

CHAVES, J.C. Especificação química da solução do solo para interpretação da adsorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p. 447-453, 1991.

COUTO, L., DANIEL, O., GARCIA, R., BOWERS, W., DUBÉ, F. **Sistemas agroflorestais com Eucaliptos no Brasil: uma visão geral**. Viçosa: SIF, 1998. 50p. (Documento SIF n. 17)

DALL'AGNOL, A.; CASTIGLIONI, V.B.R.; TOLEDO, J.F.F. A cultura do girassol no Brasil. In: PUIGNAU, J. (Ed.) **Mejoramiento genético de girassol**. Montevideo: IICA, PROCISUR, 1994. p.37-41.

DOUROJEAMI, M. O eucalipto não é o vilão. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/destaques_oecalipto>. Acessado em: 29/11/2005.

DRUMOND, M. A.; BARROS, N. F. de; SOUZA, A. L. de; SILVA, A. F. de. Distribuição de biomassa e de nutrientes em diferentes coberturas florestais e de pastagem na região do médio Rio Doce-MG. **Revista Árvore**, v. 21, n. 2, p. 187-199, 1997.

EATON, J.S.; LIKENS, G.E.; BORMANN, H. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. **Journal of Ecology**, 61: 495-508, 1973.

EMBRAPA-Embrapa Milho e Sorgo Sistemas de Produção, 2 ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 3ª edição Set./2007

FERREIRA, M.G.M. An analysis of the future productivity of *Eucalyptus grandis* plantations in the “Cerrado” region in Brazil: a nutrient cycling approach. S.I. Faculty of Forestry, University of British Columbia, 1984. (Tese de Doutorado). 230 p.

FERREIRA, C.A. et al. Pesquisas sobre nutrição de Pinus no Sul do Brasil. **Revista da Madeira**, n. 83 – ano 14 – Agosto, 2004.

FIBRA (Jornal da CENIBRA), n. 217 – Novembro de 2003. Disponível em: <http://www.ipef.br/hidrologia/eucaliptoegua.asp>

FLINN, E.W., BREN, L.J., HOPMANS, P. Soluble nutrient inputs from rain and outputs in stream water from small forested catchments. **Australian Forestry**, n. 42(1), p. 39-49, 1979.

FORTI, M.C.; MOREIRA-NORDEMANN, L.M. Rainwater and throughfall chemistry in a “terra firme” rain forest: Central Amazonia. **Geophysics Research**, v.96, p. 7415-21, 1991.

GARCIA R. Sistemas Silvopastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. **In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO DE ANIMAIS EM PASTEJO. 1997**, Curitiba. Anais ... [Editado por] José Alberto Gomide. Viçosa, MG, 1997. 471p.

GARDNER, R.H.; MANKIN, J.B. Analysis of biomass allocation in forest ecosystems of the IBP. In: REICHLER, D.E. **Dynamic properties of forest ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 1981. Cap. 8, p. 451-497.

HAAG, H.P. Coord. **Chuvvas ácidas**. Campinas: Fundação Cargil, 1985. 77p.

HELLMAN, M.; HUDSON, J; SANMUGADAS, K. **Temporal variability in atmospheric nutrient influx to tropical ecosystem**. Biotropica, Fairfax, 14(1):1-9, 1982.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1971. 288p.

JOHNSON, P.L.; SWANK, W.T. Studies of cation budgets in the southern Appalachians on four experimental watersheds with contrasting vegetation. **Journal of Ecology**, v. 54, n 1. p. 70 – 80. 1973.

KRAMER, P.J. e T. KOZLOWSKI. Physiology of Woody Plants. New York, Academic Press.811 p.1979.

KOZLOWSKI, T, T., KRAMER, P.J., PALLARDY, S. G. **The Physiological Ecology of Woody Plants**. New York: Academic Press, 1991. 657 p.

LEITE, N. B. Eucalipto com ciência, plantio consciente. Disponível em: <http://www.radiobras.gov.br/ct/materia.phtml?tipo=AR&materia=145640> Acessado em: 16/08/2005.

LIMA, W.P., BARBIN, D. Efeito de plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre a qualidade da água da chuva. **IPEF**, n. 11, p. 23-35, 1975.

LIMA, W. P. Alteração do pH, condutividade e das concentrações de Ca, Mg e P da água da chuva em floresta de *Pinus caribea* Morelet var. *caribea*. **IPEF**. São Paulo, n. 18, p. 37 – 54, 1979.

LIMA, W.P. Ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em cerradão. **IPEF**, n.30, p.13-17, 1985.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo:EDUSP, 2 ed. 1992.

LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. São Paulo: EDUSP, 1996.

LIMA, W.P. Florestas plantadas e a água: conflito ambiental ou ausência de políticas sadias de uso da terra? **Conselho em Revista (CREA/RS)**, n.37, 2007.

MARENCO, R.A., LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas, nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1986. 647 p.

McCOLL, J.G. Properties of some natural water in a tropical wet forest of Costa Rica. **Bio-science**, n. 20, p. 1096-1100, 1970.

MIRANDA, J.; COSTA, L.M.; RUIZ, H.A.; EINLOFT, R.. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:633-647, 2006.

MINA, V.N. The effect of stemflow on the soil. **Pochvovedeniye**, n. 10, p. 44-52, 1967.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. MCT. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em 10.ago.2005.

MONTOYA VILCAHUAMAN, L. J.; MAZUCHOWSKI, J. Z. Estado da arte dos sistemas agroflorestais na Região Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1.; ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v. 1, p. 77-96.

NEUMANN, M., J. RESTLE, D. C. ALVES FILHO, I. L. BRODANI, L. G. PELLEGRINI & A. K. FREITAS 2002a. Avaliação do valor nutritivo da planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31 (1): 293-301.

OLIVEIRA NETO, S.N., REIS, G.G., REIS, M.G.F., NEVES, J.C.L. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Árvore**, v.27, n.1, p.15-23, 2003.

OLIVEIRA, F.A.; CASTRO, C.; FRANCHINI, J.C.; TORRES, E. Manejo do solo. In: LEITE, R.M.V.B.C; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. **Girassol no Brasil**. Londrina, Embrapa Soja, 2005. p.

PAIVA, H.N., JACOVINE, L.A.G., RIBEIRO, G. T., TRINDADE, C. **Cultivo de eucalipto em propriedades rurais**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 138p.

PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V; SILVA, J.M.; COSTA, T.L.; FEITOSA, R.M. Estimativa da infiltração de água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.5, n. 1, 2004.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.

PRITCHETT, W.L. **Properties and management of forest soils**. Estados Unidos, 1979. 500p.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990, 188 p.

REIS, M.G.F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 09, n. 2, p. 149-162, 1985.

REIS, M.G.F.; BARROS, N.F.; KIMMINS, J.P. Acúmulo de nutrientes em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades, em Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.11, n. 1, p. 1-15, 1987.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. Desfazendo mitos e preconceitos. **Revista da madeira**, n. 69, 2003.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. Técnicas de plantio alteram resultados. **Revista da Madeira**, n. 97, 2006.

SAIDELLES, F.L.F. **Determinação da biomassa e altura de amostragem para a quantificação de nutrientes em *Acacia mearnsii* De Wild**. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SANTOS, S.R.M.; MIRANDA, I.S.; TOURINHO, M.M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazonica**, vol.34 (1), 2004.

SCHONAU, A.P.G. Seasonal changes in foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal*, Pretória, v. 119, p. 1-4, 1981.

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. 87p. Dissertação(Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba.

SCHUMACHER, M.V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen Bestaenden von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in**

Rio Grande do Sul, Brasilien. 1995. 167p. Tese (Doutorado) – Universität für Bodenkultur, Viena, Áustria.

SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes como base da produção sustentada em ecossistemas florestais. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMAS NATURAIS DO MERCOSUL: O AMBIENTE DA FLORESTA, 1996, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria : UFSM, CEPEF, 1996. p.65-77. 167p.

SERRÃO, E.A. Pasture development and carbon emission/accumulation in the Amazon. In: IPCC Meeting, University of São Paulo. Janeiro de 1990. 12p.

SHREINER, H.G.; BALLONI, E.A. Consórcio das culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden) no Sudeste do Brasil. **Boletim de Pesquisa Florestal.** Curitiba, n. 12, p. 83-104, 1986.

SILVA FILHO, E.V. **Estudos da chuva acida e de entrada de Na, K, Ca, Mg e Cl na Bahia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, RJ.** Rio de Janeiro: UFF. 1985. 92p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal Fluminense, 1985.

SILVA, L. C. R. & RESTLE, J. Avaliação do milho (*Zea mays* L.) e do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para produção de silagem. p.467. In Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 30. Rio de Janeiro. 920 p. Resumos. 1993.

SILVA, H.D. **Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis*, de diferentes idades.** 1996. 101f. Tese – Universidade Federal do Paraná, 1996.

SOARES, R.V.; HOSOKAWA, R.T. Estimativa de biomassa energética de árvores de bracatinga. **Brasil Florestal: Boletim técnico**, 8:37-48. 1984.

SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. de; LEITE, H. G. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 20, n. 2, p. 179-189, 1996.

SOARES, J.V., ALMEIDA, A.C. Modeling the water balance and soil water fluxes in a fast growing *Eucalyptus* plantation in Brazil. **Journal of Hydrology**, n. 253, p. 130 – 147, 2001.

SOPPER, W.E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. **Journal of Environmental Quality** 4(1): 24-29. 1975.

SWAROWSKI, A.; RIGHES, A.A.; MARCHEZAN, E.; RHODEN, A.C.; GUBIANI, E.I. Concentração de nutrientes na solução do solo sob diferentes manejos do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 344-351, 2006.

SWITZER, P.S. & NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly pine (*P. taeda* L.). Plantations Ecosystems: The First Twenty years. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, 36 (1): 143-7, 1972.

TOMÉ JÚNIOR, J.B. **Manual para interpretação de análise de solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

UCR (University of California). Disponível em: <http://www.newsroom.ucr.edu>. Acessado em 27/10/2007.

VALE, R. S. Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da zona da mata da mata de Minas Gerais. 2004. Tese de Doutorado. UFV. 115f.

VOIGTLANDER, M. **Caracterização hidrológica e bioquímica de microbacias: uma comparação entre Mata Atlântica e Pinus taeda L.** 75f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz (ESALQ), 2007.

WELLS, C.G; WHIGAM,D. and LIETH, H. Investigation of mineral nutrient cycling in a upland piedmont. forest. **The Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society**,88(2): 66-78, 1972.

WEST, P.W.. **Growing plantation forests**. Germany: Springer, 2006.

WHITE, J. S., K. K. BOLSEN & G. POSLER. 1991. Forage sorghum dry matter disappearance as influenced by plant part proportion. *Animal Feed Science Technology*, 33 (4):312-322.

ZAGO, C. P. 1991. Cultura de sorgo para produção de silagem de alto valor nutritivo. p. 169-217. In *Simpósio sobre Nutrição de Bovinos*, 4. Fealq, Piracicaba. 320 p. Resumos

ZAMBROSI, F.C.B. **Calagem e gessagem na especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.1 Caracterização da área de estudo

O presente estudo foi realizado em área experimental da Fazenda Aroeira, com 3,6 ha, pertencente à Empresa Votorantim Celulose Papel (VCP), Unidade Rio Grande do Sul, no município de Candiota-RS (Figuras 3.1, 3.2 e 3.3), apresentando as seguintes coordenadas geográficas: 31° 45' 50.7" S e 53° 50' 34.9" W. Este trabalho é parte integrante de pesquisa em parceria com a Universidade Federal de Santa Maria e a Albert-Ludwigs Universität-Freiburg, denominada "Monitoramento dos Fatores de Produção em um Sistema Agrossilvipastoril na Metade Sul do RS", com duração prevista de 7 anos, a fim de contemplar todo o ciclo da cultura do eucalipto, instalada no mês de setembro do ano de 2005.



Figura 3.1 – Localização do município de Candiota, RS. (Fonte: Wikipedia, 2007).

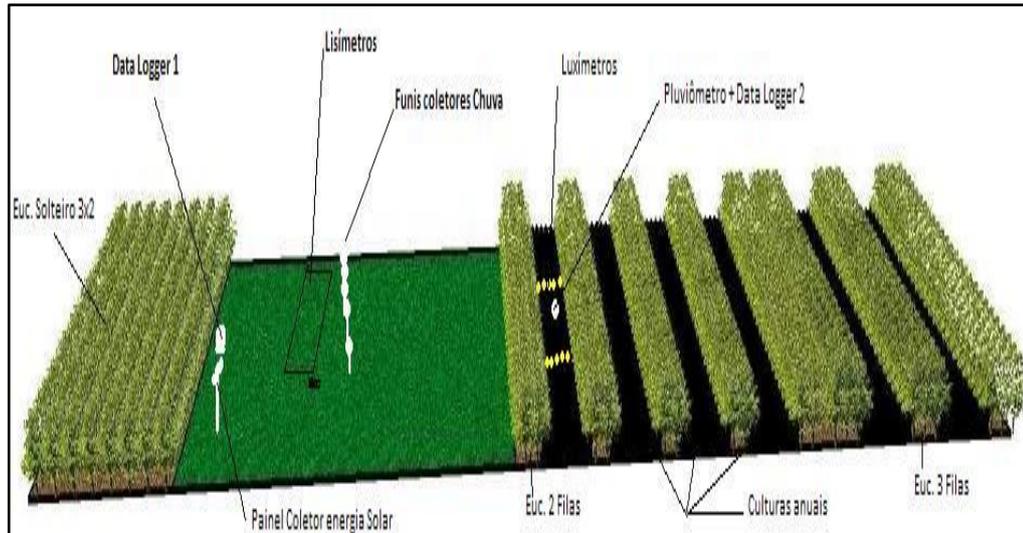


Figura 3.2 – Panorama geral da área experimental. Candiota, RS.

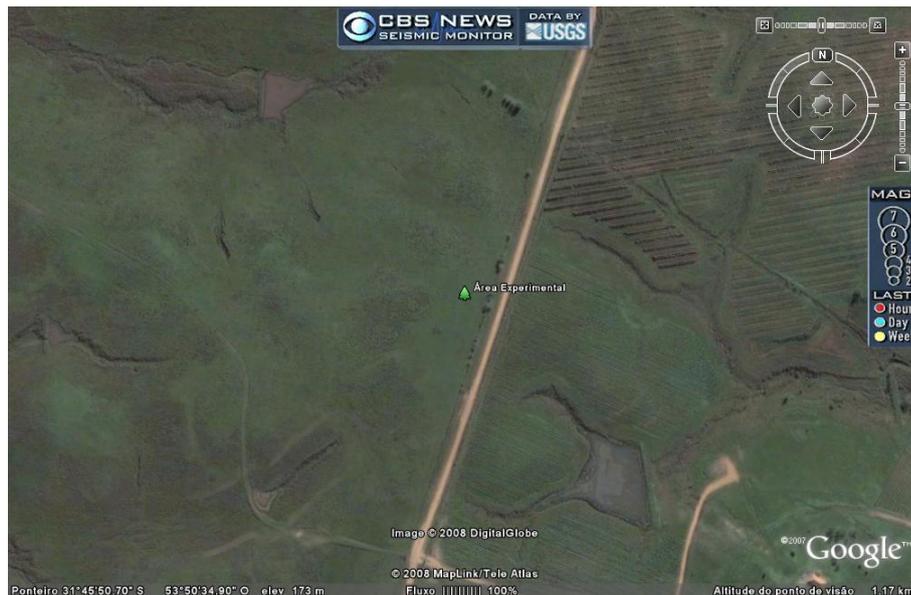


Figura 3.3 – Vista da área experimental. Fonte: Google Earth.

3.2 Clima

Na região, segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Cfa, caracterizado como subtropical, em que a temperatura do mês mais frio oscila entre -3°C e 18°C e a média do mês mais quente é superior a 22°C . A precipitação pluviométrica média anual de 1414 mm (MORENO, 1961).

3.3 Solo

Segundo Streck et al. (2002), os solos da região em estudo pertencem à unidade de mapeamento Aceguá, classificados como Vertissolo Ebânico órtico chernossólico, com perfil pouco profundo com horizontes A-Cv ou A-Biv-Cv de cor escura ou cinzenta com horizonte vértico e pequena variação de textura ao longo do perfil. Na Figura 3.4 é possível observar o perfil do solo da área experimental.

O Vertissolo Ebânico órtico chernossólico desenvolvido de rochas sedimentares (folhelhos argilosos e siltosos) ocorre nos municípios de Dom Pedrito, Bagé e Hulha Negra, ocupando coxilhas suavemente onduladas e depressões. Devido à presença de argilas expansivas (esmectitas), os Vertissolos tornam-se duros quando secos e plásticos e pegajosos quando úmidos, dificultando uso e manejo.

O solo, como pode ser visto a seguir, apresenta uma camada adensada a partir dos 50 cm de profundidade. Isto significa que grande parte das raízes das culturas, principalmente as do eucalipto, ficam situadas, no máximo, até essa profundidade.



Figura 3.4 – Perfil de solo da área de estudo.

Na Tabela 2.1, estão demonstradas algumas características químicas e físicas do solo na área experimental.

Tabela 2.1 Características físicas e químicas do solo analisado na área experimental, antes da instalação do experimento.

Prof. (cm)	Determinações												
	pH H ₂ O	Al	H + Al	CTC efet.	CTC pH 7	Ca	Mg	MO (%)	P	K	C	N	Dens. aparente
	(1:1)	cmol _c dm ⁻³						m/v	mg dm ⁻³		mg/g		g cm ⁻³
0 – 10	5,38	0,10	9,41	26,81	36,11	21,70	3,68	5,12	20,30	517,00	2,52	29,72	1,35
10 – 20	5,35	0,10	11,05	28,65	39,56	23,60	3,66	4,81	12,35	483,00	2,25	27,94	1,50
20 – 30	5,09	0,60	19,18	38,12	56,70	32,05	4,65	3,72	11,51	321,00	1,62	21,61	1,15
30 – 40	5,23	1,10	17,30	47,85	64,10	40,92	5,42	2,80	7,61	179,00	1,22	16,28	1,11
40 – 50	5,56	0,10	9,63	50,62	60,16	44,87	5,26	2,67	11,84	156,00	1,21	15,53	1,40
50 – 60	5,89	0,10	4,26	40,94	45,15	36,86	3,69	2,79	35,70	130,00	1,15	16,20	1,18
60 – 70	5,43	0,30	8,89	41,06	49,62	36,05	4,29	2,66	7,78	154,00	1,24	15,47	1,23
70 – 80	5,20	0,50	7,92	29,47	36,88	26,10	2,51	2,30	16,92	134,00	1,01	13,37	1,44
80 – 90	5,89	0,10	2,69	33,20	35,83	30,31	2,52	1,27	95,60	117,00	0,70	7,36	1,56
90 – 100	7,10	0,00	1,18	37,42	38,58	35,08	2,18	3,53	37,22	56,00	0,34	20,51	1,36

Com base nas informações contidas na Tabela acima, e conforme as informações contidas no Manual de Adubação e Calagem (2004), pode-se fazer as seguintes inferências: o pH do solo é considerado como baixo; o fósforo como alto; o potássio como muito alto; a matéria orgânica (M.O.) como média; o cálcio e o magnésio como alto e o alumínio como baixo a médio (dependendo da profundidade).

3.4 Definição dos tratamentos

Foram escolhidos quatro tratamentos: T1 = eucalipto solteiro em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo; T3 = Eucalipto 10 m x 2 m em linha dupla + cultura agrícola (verão / inverno) e T4 = Eucalipto 10 m x 2 m em linha tripla + cultura agrícola (verão / inverno).

Durante o período de estudo, foram plantadas duas culturas de verão (sorgo e girassol) e uma cultura de inverno (trigo), a qual não foi avaliada nesse estudo. Uma representação esquemática dos tratamentos pode ser visualizada na Figura 3.5.

Dentro da área de estudo, o plantio foi realizado manualmente, em virtude da impossibilidade de entrada de maquinário agrícola na área cercada. Cada tratamento corresponde a uma parcela, que apresenta dimensões de 30 m x 40 m cada.

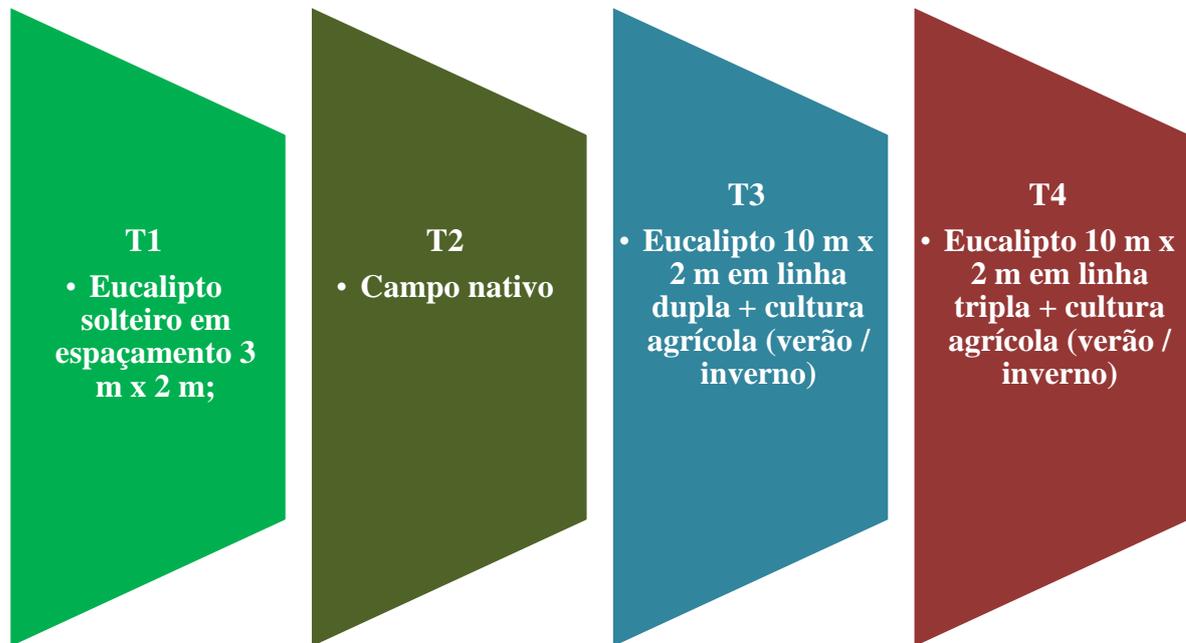


Figura 3.5 – Esquema dos tratamentos utilizados na área experimental.

3.5 Referências bibliográficas

GOOGLE EARTH. Disponível em: <http://earth.google.com/intl/pt/>, Acessado em 01/02/2007.
 MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 41p.

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 Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N. DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS : UFRGS, 2002. 107p.

WIKIPEDIA. Disponível em: [HTTP://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:RioGrandedoSul_Municip_Candiota.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:RioGrandedoSul_Municip_Candiota.svg). Acessado em 01/02/2007

4. BIOMASSA E NUTRIENTES NOS COMPONENTES DE UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL

Resumo

Este estudo teve por objetivos quantificar a biomassa acima do solo dos componentes eucalipto, sorgo e girassol, bem como quantificar os nutrientes nela contidos. A área experimental localiza-se sob as coordenadas 31° 45' 50.7" S e 53° 50' 34.9" W, na Fazenda Aroeira, município de Candiota, RS, onde se encontra instalada uma área experimental com estudo de duração programada de 7 anos, onde há quatro diferentes tratamentos (T1 = eucalipto solteiro plantado em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo (testemunha); T3 = SAF (eucalipto plantado em linha dupla), T4 = SAF (eucalipto plantado em linha tripla)). Como biomassa acima do solo, o sorgo apresentou um total de 9.876 kg ha⁻¹ (17,67% nas folhas, 47,74% no colmo e 34,61% nos grãos. No girassol, a biomassa total acima do solo totalizou 11.968 kg ha⁻¹ (21,62% no capítulo, 24,03% nas folhas, 21,32% nos grãos e 22,03% no caule). A biomassa acima do solo total no eucalipto, aos 16 meses, totalizou 10.974 kg ha⁻¹ (45,28% na madeira, 26,31% nos galhos, 19,96% nas folhas e 8,45% na casca). O conteúdo de nutrientes na cultura do sorgo apresentou-se na seguinte magnitude para o total: C > N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Al > Na > Mn. Na cultura do girassol, a magnitude de distribuição dos nutrientes na biomassa total, foi: C > K > N > Ca > Mg > P > S > Na > Fe > Al > Mn. No eucalipto a magnitude da distribuição do total de nutrientes foi: C > N > Ca > K > Mg > P > S > Na > Mn > Al > Fe.

Palavras-chave: sistema agroflorestal; biomassa acima do solo; nutrientes.

Abstract

This study had as objective to quantify the above ground biomass from eucalyptus, sorghum and sunflower components, as well as, to quantify the total nutrients in it. The experimental area is located at Aroeira Farm, Candiota county under the following coordinates: 31° 45' 50.7" S and 53° 50' 34.9" W, where there is na experimental área with a study that is planning to last for 7 years, where there are 4 treatments located (T1 = eucalyptus planted in 3 m x 2 m spacing; T2 = native grass (control); T3 = SAF (eucalypts

planted in double line), T4 = SAF (eucalyptus planted in triple line)). As above ground biomass, sorghum had 9.876 kg ha⁻¹ (17,67% in the leaves, 47,74% in the stem and 34,61% in the grains. In sunflower, the total above ground biomass totalized 11.968 kg ha⁻¹ (21,62% in blossom, 24,03% in the leaves, 21,32% in the grains and 22,03% in the stem). The total above ground biomass in eucalyptus, at 16 months, totalized 10.974 kg ha⁻¹ (45,28% in wood, 26,31% in branches, 19,96% in leaves and 8,45% in bark). The nutrients in sorghum followed this magnitude: C > N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Al > Na > Mn. For sunflower, the distribution was like this: C > K > N > Ca > Mg > P > S > Na > Fe > Al > Mn. In eucalyptus, the distribution was: C > N > Ca > K > Mg > P > S > Na > Mn > Al > Fe.

Key-words: agroforestry system; above ground biomass; nutrients.

4.1 Introdução

A agrossilvicultura é a ciência que estuda os sistemas agroflorestais. Sendo assim, os sistemas agroflorestais passam a ser objeto de estudos dessa ciência, ou seja, fazem parte do conjunto de atividades racionais e sistemáticas do conhecimento gerado pela ciência Agrossilvicultura (VALE, 2004).

De acordo com o mesmo autor supracitado, para o termo sistemas agroflorestais existem várias definições, porém a mais completa e objetiva delas pode ser a seguinte: são sistemas de uso da terra e dos recursos naturais que combinam a utilização de espécies florestais, agrícolas e, ou, criação de animais, numa mesma área, de maneira simultânea e, ou, escalonada no tempo.

Sistemas agroflorestais são sistemas de uso da terra nos quais árvores ou arbustos são cultivados em associação com culturas agrícolas, pastagem ou animais, onde há interações ecológicas e econômicas entre as árvores e os outros componentes.

Os nutrientes são elementos químicos que têm ampla variedade de papéis no metabolismo das plantas; sem eles, as plantas não podem sobreviver. Há 15 elementos considerados essenciais para as plantas. As plantas retiram os nutrientes do solo através das raízes finas que estão localizadas nas extremidades do sistema radicular. As raízes finas são tecidos vivos e não se transformam em madeira. Os nutrientes, para serem absorvidos pelas

raízes finas, devem estar dissolvidos na água que ocupa os espaços livres no solo. Tanto a água quanto os nutrientes são absorvidos pelas raízes finas (WEST, 2006).

O aumento de biomassa aérea e subterrânea num plantio de árvores é elevado nos dez primeiros anos, sendo que a biomassa aérea nesse caso apresenta incremento lenhoso e foliar mais rápido até os 20 anos, apresentando uma pequena desaceleração, mas, com algum acréscimo até sua maturação (BROWN & LUGO apud SANTOS, MIRANDA & TOURINHO, 2004). Observa-se comportamento semelhante em sistemas agroflorestais (SAF) que são muito dinâmicos, principalmente nos primeiros anos de implantação e estabelecimento quando a experimentação de espécies é uma prática comum.

Segundo Osterroht (2002), entre os diversos sistemas agropecuários de uso da terra, os SAF são aqueles que acumulam maior ativo de biomassa.

Lima (1996) afirma que o primeiro trabalho publicado sobre o uso de eucalipto em sistemas agroflorestais no país foi o de Gurgel Filho (1962) que testou diferentes densidades de plantio de milho intercalado entre fileiras de eucalipto, em região de cerrado do sul da região sudeste do país. O autor observou benefício mútuo para as espécies consorciadas para a densidade de uma fileira de milho, enquanto densidades maiores causaram algum prejuízo na produção.

O interplantio de soja com *Eucalyptus grandis* durante a fase inicial do crescimento das árvores foi estudado por Couto (1982) na região de cerrado em Minas Gerais. O eucalipto foi plantado em espaçamento de 3 x 2 metros e a soja foi semeada em densidades de três a cinco linhas de plantio entre as fileiras de árvores, simultaneamente. A produção de soja variou de 1.500 a 2.500 kg ha⁻¹, sendo considerada equivalente a produção média de soja cultivada em monocultura. A produção de eucalipto, todavia, foi maior do que a verificada na testemunha. (LIMA, 1996)

O mesmo autor supracitado descreve que outra forma de utilização do eucalipto em sistemas agroflorestais no Brasil está relacionada com o sistema silvopastoril de consorciação com o gado. Podem-se observar exemplos dessa prática em inúmeros povoamentos de eucalipto formados ao redor das casas e ao longo das pastagens em muitas propriedades rurais da parte centro-sul do país.

Este estudo teve por objetivos principais quantificar a biomassa acima do solo das culturas de sorgo e girassol, bem como quantificar os nutrientes (macro e micro) contidos nessa biomassa e também verificar o *status* nutricional das plantas de eucalipto presentes no Sistema Agroflorestal em estudo.

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Amostragem da biomassa e quantificação dos nutrientes

Para a amostragem das culturas do sorgo e girassol, foram demarcadas, aleatoriamente, 4 parcelas de 1m² em cada um dos tratamentos com sistema agroflorestal. Foi amostrada a sua biomassa acima do solo na sua totalidade, com o uso de facão para se fazer o corte da totalidade da planta rente ao solo, e posterior separação nas frações com o auxílio de uma tesoura de poda, pesada e amostrada adequadamente. A amostragem da cultura do sorgo foi realizada no ano de 2006 e a amostragem do girassol foi realizada no ano de 2007, no período anterior à colheita das mesmas. A biomassa do sorgo foi dividida em folhas, grãos e colmo e a biomassa do girassol foi dividida em folhas, caule, capítulo e grãos. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO) do Departamento de Ciências Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria, para serem secas em estufa de circulação e renovação de ar, moídas. Posteriormente, foram encaminhadas ao para a Universidade Albert-Ludwigs (Freiburg, Alemanha) onde foram realizadas as determinações de C, N, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e S.

Para a realização das análises dos teores de nutrientes presentes nas amostras de sorgo, eucalipto e girassol; primeiramente foi realizada uma digestão em microondas, para isso, foi pesado 0,2 g de amostra e colocada em recipiente específico, na seqüência, adicionou-se 5 ml de HNO₃ (65%) e deixou-se descansar por uma noite. No dia seguinte adicionou-se 2 ml de H₂O₂ (30%) e colocou-se os recipientes no rotor e posteriormente no microondas. Após a finalização do processo no microondas, o rotor com as amostras era retirado e colocado para resfriar em capela com exaustão até atingir temperatura ambiente. Posteriormente, o líquido resultante da digestão era transferido para balões volumétricos com água bidestilada e o volume era completado até 100ml com água. Posteriormente essa solução foi utilizada para a análise dos elementos (Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e S) no ICP (Inductively Coupled Plasma).

Para a análise de Carbono e Nitrogênio nas amostras de tecido vegetal e também de solo, utilizou-se o equipamento denominado CNS. Quando as análises eram de tecidos vegetais, 4 mg de amostra eram pesadas em microcápsulas de zinco e adicionado V₂O₅ que serve de catalisador no processo de análise.

4.2.2. Quantificação do estado nutricional e da biomassa do eucalipto

Para a caracterização do estado nutricional das plantas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) nos diferentes tratamentos dentro da área experimental, foram coletadas amostras de madeira, galhos vivos, casca e folhas de 3 árvores de eucalipto nos 3 diferentes tratamentos com árvores (T1 = eucalipto solteiro; T3 = eucalipto plantado no sistema agroflorestal (duas fileiras) e T4 = eucalipto plantado no sistema agroflorestal (três fileiras).

No momento da amostragem, as plantas de eucalipto encontravam-se com 16 meses de idade.

Para a amostragem, as 3 árvores médias em cada tratamento com árvores, foram abatidas e fracionadas nos componentes anteriormente descritos. As amostras coletadas foram encaminhadas ao LABEFLO, onde foram devidamente secadas, moídas e analisadas quanto às concentrações de C, N, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P e S, de acordo com a metodologia descrita acima para as análises de sorgo, girassol e eucalipto.

4.3 Resultados e Discussão

4.3.1 Biomassa

4.3.1.1 Sorgo

O sorgo plantado no sistema agroflorestal em estudo apresentou uma biomassa total acima do solo de 9.876 kg/ha, sendo 1.743 (17,67%) de folhas, 4.715 (47,74%) no colmo e 3417 (34,61%) de grãos (Figura 4.1). Coelho et al. (2002) afirmam que a área cultivada e a produção brasileira de sorgo granífero (*Sorghum bicolor*) cresceram substancialmente nos últimos 30 anos (1973 a 2002), representando, respectivamente, aumentos de 317.400 ha e de 529.090 t, atingindo 496.862 ha e produção total de 1.057.958 t na safra de 2002. Apesar desse crescimento significativo em área e produção, verifica-se que a produtividade é baixa (1.500 a 2.500 kg/ha) e extremamente variável ao longo dos anos, típica de uma cultura semeada em condições marginais de clima e, principalmente, sem uso de tecnologias.

De acordo com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2007), o rendimento médio na produção de grãos de sorgo para a região sul do Brasil é 2.834 kg/ha.

Com base nessa informação é possível afirmar que a produção obtida na área experimental apresentou valores satisfatórios.

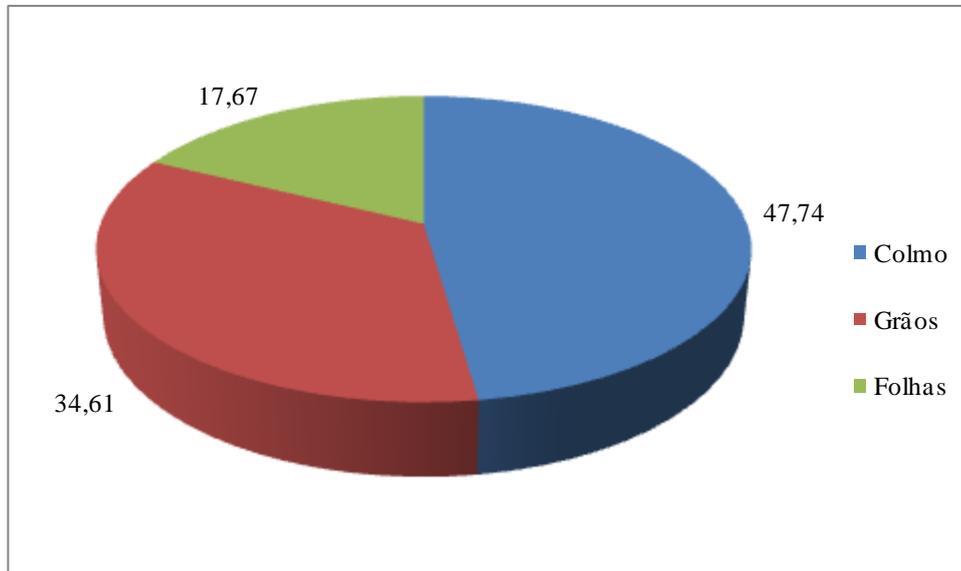


Figura 4.1 – Distribuição percentual da biomassa acima do solo na cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*), safra 2006 em sistema agroflorestal, Candiota-RS..

4.3.1.2 Girassol

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma fonte importante de óleo comestível. Sua produção mundial ultrapassa 20 milhões de toneladas anuais de grãos. O rendimento de grãos na lavoura de girassol pode atingir e ultrapassar 2.500 kg/ha, com a tecnologia nacional atualmente disponível. Em áreas experimentais há registro de rendimentos superiores a 3.000 kg/ha (Lasca, 2007).

A produtividade na área experimental foi de 2.549 kg/ha, sendo considerada muito boa em relação à média nacional.

A biomassa total acima do solo perfaz 11.958 kg/ha, sendo dividida em 24,03% nas folhas (2.873 kg/ha); 21,62% no capítulo (2.584 kg/ha); 21,32% nos grãos (2.549 kg/ha) e 33,03% no caule (3.950 kg/ha). A distribuição da biomassa acima do solo, na cultura do girassol, pode ser observada no gráfico a seguir (Figura 4.2).

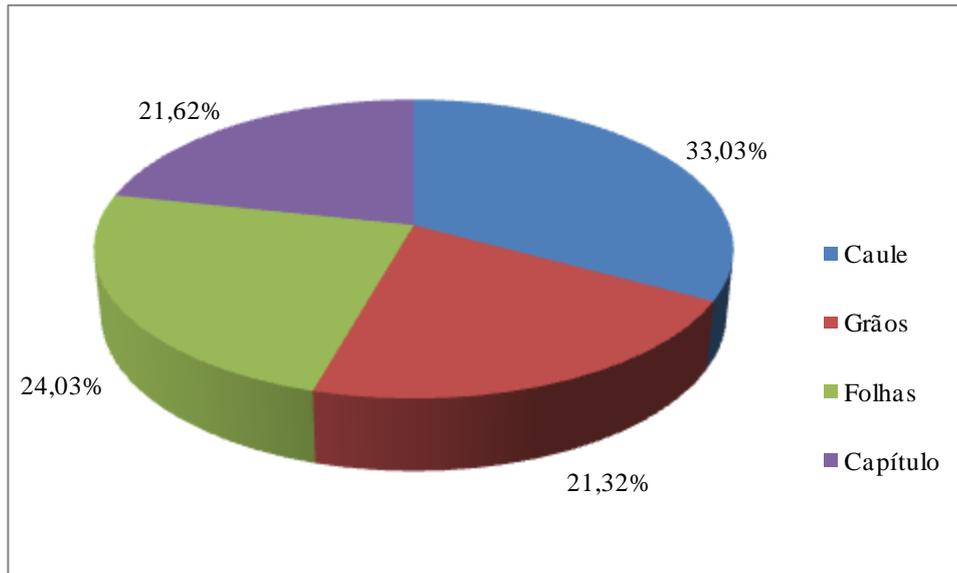


Figura 4.2 – Distribuição percentual da biomassa acima do solo na cultura do girassol (*Helianthus annuus*) em sistema agroflorestal com *Eucalyptus urograndis*, safra 2007. Candiota, RS.

4.3.1.3 Eucalipto

Após a realização do inventário, quantificação e amostragem da biomassa das árvores de eucalipto, obteve-se os seguintes valores de biomassa acima do solo, em kg ha^{-1} (Tabela 3.1). A madeira foi o componente que apresentou maior biomassa acima do solo, ou seja $4.969,50 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo responsável por 45,28% da biomassa total. A biomassa total foi de $10.974,28 \text{ kg ha}^{-1}$ (45,28% na madeira; 26,31% nos galhos; 19,96% nas folhas e 8,45% na casca).

Tabela 4.1 – Distribuição percentual dos componentes da biomassa acima do solo de *Eucalyptus urograndis*, aos 16 meses.

Componente	Biomassa (kg ha^{-1})	%
Madeira	4.969,50	45,28
Galhos	2.886,90	26,31
Casca	927,05	8,45
Folhas	2.190,82	19,96
TOTAL	10.974,27	100

Com base nesses dados, é possível inferir que a maior parte da biomassa está composta pela madeira, seguida de galhos, folhas e casca.

Viera (2007), em estudo semelhante com diferentes espécies de *Eucalyptus* (*E. saligna* e *E. urograndis*) aos 18 meses de idade, encontrou os seguintes totais de biomassa acima do solo: 9,65 e 16,00 Mg ha⁻¹ para *E. urograndis* e 14,99 Mg ha⁻¹ para *E. saligna*. As frações madeira e casca, juntas foram responsáveis por cerca de 40 a 50% da biomassa total dos diferentes povoamentos da fazenda Querência II. Em povoamentos de *E. saligna* com 4 anos, as frações madeira e casca foram responsáveis por cerca de 80% da biomassa total (SCHUMACHER & CALDEIRA, 2004).

Estudos realizados em duas áreas diferentes de cerrado, com *Eucalyptus grandis*, Reis et al. (1985), encontraram uma biomassa acima do solo de 9,62 e 11,59 Mg ha⁻¹ aos 15 e 21 meses de idade, respectivamente.

Em um povoamento de *E. saligna*, aos quatro anos de idade Schumacher & Caldeira (2004), encontraram uma produção de biomassa total de 79,56 Mg ha⁻¹. Já em um povoamento de *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii* também aos 4 anos, de idade a biomassa acima do solo foi de 83,2 Mg ha⁻¹ (SCHUMACHER & CALDEIRA, 2001).

Esses valores inferiores da biomassa do fuste (madeira + casca), encontrados neste estudo, em relação aos da copa (folhas + galhos) é justificado pelo estado de juvenilidade em que o povoamento se encontra (16 meses de idade), devido ao dossel não estar completamente fechado, permite a passagem de luminosidade, favorecendo o crescimento de galhos e folhas da base ao topo do fuste. Esses valores devem-se inverter com o desenvolvimento da floresta e conseqüente fechamento do dossel e senescência da parte média inferior da copa, que deixará de ser uma fonte consumidora de fotoassimilados, sendo esses, a partir de então, acumulados em parte na biomassa do fuste.

Isso também é salientado por Schumacher (1992) quando se refere 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 iniciam a competir entre si por espaço, a produção relativa do tronco aumenta e a de folhas e ramos diminui gradativamente.

Reis et al. (1985), estudando o acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado, observaram 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.

POGGIANI et al. (1983) e PEREIRA et al. (1984), analisando povoamentos de *E. saligna* aos 8,0 e 9,0 anos de idade, respectivamente, verificaram que, em média, 85% da biomassa aérea encontrava-se no fuste (madeira + casca) e o restante na copa.

Já Santana et al. (1999), encontraram valores superiores em relação aos encontrados pelos autores citados anteriormente, variando entre 88 e 92% a biomassa de fuste em diferentes procedências de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis* em 5 sítios diferentes aos 6,5 anos de idade, no estado de São Paulo.

4.4. Conteúdo de nutrientes

4.4.1 Sorgo

Na Tabela 4.2, verifica-se a distribuição dos nutrientes nas plantas de sorgo. Os nutrientes apresentam-se na seguinte magnitude para o total: C > N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Al > Na > Mn.

É possível afirmar que o alumínio e o cálcio encontram-se em maior quantidade nas folhas; o potássio, manganês e o sódio no colmo e o ferro, magnésio, fósforo, enxofre, carbono e nitrogênio nos grãos, fração que é exportada por ocasião da colheita.

É importante verificar a exportação de nutrientes pelos componentes da cultura agrícola onde, se for retirado apenas os grãos, ou seja, parte comercializável, o restante de nutrientes que estão contidos nas outras partes (folhas e colmo) permanecerão no sítio e não serão exportados no momento da colheita. Isso totalizaria um retorno de 2,21 kg ha⁻¹ de alumínio, 48,88 kg ha⁻¹ de cálcio, 2,85 kg ha⁻¹ de ferro, 11,31 kg ha⁻¹ de magnésio, 1,06 kg ha⁻¹ de manganês, 1,79 kg ha⁻¹ de sódio, 20,18 kg ha⁻¹ de fósforo, 3,55 kg ha⁻¹ de enxofre, 1.459,90 kg ha⁻¹ de carbono e 37,30 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

Tabela 4.2 – Distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos da cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*) (kg ha⁻¹), safra 2006, Candiota-RS.

Elemento	Compartimento						Total (kg/ha)
	Folhas	% do total	Colmo	% do total	Grãos	% do total	
Alumínio (Al)	1,65	43,30	0,56	14,71	1,60	41,99	3,81
Cálcio (Ca)	34,03	62,85	14,85	27,62	5,26	9,53	54,14
Ferro (Fe)	1,53	33,85	1,32	29,21	1,67	36,94	4,52
Magnésio (Mg)	6,41	34,40	4,90	26,31	7,32	39,29	18,63
Manganês (Mn)	0,40	28,57	0,66	47,15	0,34	24,28	1,40
Sódio (Na)	0,38	14,40	1,41	53,41	0,85	32,19	2,64
Fósforo (P)	5,75	13,00	14,43	32,62	24,06	54,38	44,24
Enxofre (S)	1,48	25,34	2,07	35,45	2,29	39,21	5,84
Carbono (C)	728,88	33,23	731,10	33,33	733,40	33,44	2.193,30
Nitrogênio (N)	23,50	11,21	13,8	6,59	172,40	82,20	209,70

4.4.2 Girassol

Na Tabela 4.3, está apresentado o conteúdo total de nutrientes encontrados na biomassa acima do solo na cultura do girassol.

Pode-se verificar que na fração folhas estão contidas as maiores quantidades de alumínio, cálcio, ferro, magnésio, manganês, enxofre e nitrogênio; na fração grãos, está a maior quantidade de fósforo; e na fração caule estão as maiores quantidades de potássio, sódio e carbono. A fração capítulo, não apresentou a quantidade maior de nenhum dos nutrientes analisados.

Ao se considerar a possibilidade de deixar as partes não comercializáveis no local da colheita (folha, caule e capítulo), e retirar apenas os grãos, haverá a possibilidade de retorno de quantidades consideráveis de nutrientes, na seguinte magnitude: 1,59 kg ha⁻¹ de alumínio (Al), 182,36 kg ha⁻¹ de cálcio (Ca), 1,55 kg ha⁻¹ de ferro (Fe), 379,77 kg ha⁻¹ de potássio (K), 42,32 kg ha⁻¹ de magnésio (Mg), 1,21 kg ha⁻¹ de manganês (Mn), 22,46 kg ha⁻¹ de fósforo (P), 7,38 kg ha⁻¹ de enxofre (S), 3.592,80 kg ha⁻¹ de carbono (C) e 178,40 kg ha⁻¹ de nitrogênio (N).

Tabela 4.3 – Distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos da cultura do girassol (*Helianthus annuus*) (kg ha⁻¹), safra 2007, Candiota – RS.

Elemento	Compartimento								
	Folhas	% do total	Grãos	% do total	Capítulo	% do total	Caule	% do total	Total (kg/ha)
Alumínio (Al)	1,20	67,04	0,20	11,17	0,13	6,70	0,27	15,08	1,79
Cálcio (Ca)	112,60	59,50	6,90	3,64	27,73	14,65	42,03	22,21	189,26
Ferro (Fe)	1,23	67,59	0,27	15,39	0,12	6,60	0,18	10,44	1,82
Potássio (K)	127,58	31,46	25,77	6,35	86,48	21,33	165,71	40,86	405,54
Magnésio (Mg)	22,15	42,46	9,84	18,87	5,40	10,35	14,77	28,32	52,16
Manganês (Mn)	0,90	68,70	0,10	7,63	0,12	9,16	0,19	14,51	1,31
Fósforo (P)	12,21	25,97	24,55	52,22	7,49	15,93	2,76	5,88	47,01
Enxofre (S)	4,68	49,06	2,16	22,64	1,05	11,00	1,65	17,30	9,54
Carbono (C)	1.045,00	27,97	143,40	3,84	1.061,20	28,40	1.486,60	39,79	3.736,20
Nitrogênio (N)	97,30	36,73	86,50	32,65	33,50	12,65	47,60	17,97	264,90

4.4.3 Eucalipto

Na Tabela 4.4, é possível verificar a distribuição dos conteúdos de nutrientes na biomassa acima do solo de *Eucalyptus urograndis*, aos 16 meses de idade.

Tabela 4.4 – Distribuição dos nutrientes nos diferentes compartimentos da cultura do eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) (kg/ha), aos 18 meses.

Compartimento	C	N	Al	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Na	P	S
Madeira	2.295,61	10,68	0,09	22,85	3,08	12,57	0,09	0,39	2,38	2,53	1,29
Galhos	1.278,08	10,97	0,11	16,28	5,22	32,39	0,02	0,57	1,12	1,90	1,27
Casca	395,46	5,52	0,07	8,91	2,86	18,70	0,03	0,36	0,76	0,70	0,63
Folhas	1.076,48	58,93	0,15	24,27	5,56	18,16	0,13	2,49	3,08	5,23	4,62
TOTAL	5.045,63	86,10	0,42	72,31	16,72	81,82	0,27	3,81	7,34	10,36	7,81

Com base nos dados contidos na tabela, pode-se inferir que a maior quantidade de carbono está na madeira do eucalipto, correspondendo a 45,50% do total presente na biomassa

acima do solo. O nitrogênio encontra-se em maior conteúdo nas folhas, sendo 68,44% do total. O alumínio (35,71% do total), o potássio (33,56% do total), o ferro (48,14% do total), o manganês (65,35% do total), o sódio (41,96% do total), o fósforo (50,48% do total) e o enxofre (59,15% do total) encontram-se localizados em maior quantidade na fração folhas. Os nutrientes cálcio (39,58% do total) e magnésio (31,22% do total) encontram-se em maior quantidade na biomassa acima do solo dos galhos.

Viera (2007) em estudo de avaliação de biomassa e nutrientes em duas localidades do Rio Grande do Sul, aos 16 meses de idade, concluiu que, em termos gerais, o componente folhas apresentou a maior concentração de nutrientes e o componente madeira, a menor. Essa mesma tendência, de maior concentração de nutrientes nas folhas, foi encontrada por La Torraca et al. (1984), em um povoamento de *Pinus elliotii* var. *elliotti*, num latossolo vermelho escuro, por Bellote (1979), em *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e por Pereira et al. (2000), em *Acacia mearnsii* De Wild.

Schumacher & Poggiani (1993), analisando povoamentos de *E. camaldulensis*, *E. grandis* e *E. torelliana* com 9, 9 e 12 anos de idade, respectivamente, observaram que as maiores concentrações de Ca e Mg estão presentes na casca, o mesmo que ocorre neste estudo.

O teor de N, bem superior nas folhas que nos demais componentes, é devido a 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 ocorrência da fotossíntese (MALAVOLTA, 1985).

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, a sua imobilidade no floema, nas plantas, poderia explicar a sua concentração elevada na fração casca, assim como o fato de o elemento ser componente estrutural, fazendo parte da lamela média de membrana celular.

4.5 Estado nutricional do eucalipto

Na Tabela 4.5, é possível analisar o *status* nutricional das árvores de eucalipto nos diferentes tratamentos existentes na área de estudo.

Foi realizado o Teste de Tukey (α 5%) para proceder-se a comparação entre as médias.

Com base nessa tabela, é possível afirmar que o componente madeira e o componente galho não apresentaram diferenças estatísticas para os elementos analisados.

Porém, no componente casca, houve diferença para os elementos carbono (os tratamentos T3 e T4 apresentaram os maiores valores), cálcio (T1 e T4 apresentaram maiores valores) e magnésio (T1 apresentou maiores valores).

No componente folhas, houve diferença estatística significativa para o tratamento T1, que apresentou maior valor para o elemento enxofre.

Considerando Silveira (2006), pode-se afirmar que, com base na análise foliar do eucalipto, que apenas o Manganês (Mn) apresenta teores considerados como deficientes; os demais estão em níveis considerados adequados.

Novais et al. apud Macedo et al. (1996) destacam a análise foliar como uma ferramenta útil na difícil tarefa de avaliar o “status” nutricional em plantios de eucalipto, principalmente quando acompanhada de análises de solo, de sintomas visuais de deficiência de nutrientes e do crescimento da planta.

Segundo Macedo (1991), considerando-se espécies de eucalipto com o mesmo padrão de crescimento, podem ser estabelecidas as seguintes premissas: a) quanto maior a concentração foliar do nutriente, maiores também serão a eficiência de absorção, o esgotamento das reservas nutricionais do sítio, as chances de vencer a competição interespecífica e o “status” nutricional, em contrapartida, menor será a eficiência de utilização do nutriente; b) raciocínio contrário será válido para menores concentrações foliares de nutrientes.

Macedo et al. (1996) em avaliação do “status” nutricional revelou que generalizadamente, todas as espécies de *Eucalyptus* apresentaram respectivamente baixas concentrações foliares médias de N, S, B, Fe, Zn (para *E. citriodora*, o valor está próximo ao limite inferior) e K (para *E. citriodora* e *E. grandis*, os valores estão próximos ao limite inferior) e; alta de Mn. O que indica que, aparentemente, os elementos N, S, B, Fe, Zn e K foram os mais limitantes para o crescimento máximo das espécies. Em relação às médias das concentrações foliares de nutrientes, as espécies de *Eucalyptus* apresentaram teores decrescentes para os seguintes macronutrientes: N > Ca > K > Mg > P > S e micronutrientes: Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Tabela 4.5 – Comparação entre as médias dos nutrientes e seus componentes nos diferentes tratamentos com componente arbóreo.

Comp.	Elemento (g/kg)									
	C	N	Al	K	Ca	Mg	Fe	Mn	P	S
Mad. T1	464,14 ^a (± 4,72) ^{**}	2,03 ^a (± 0,36)	0,02 ^a (± 0,006)	3,03 ^a (± 0,32)	1,48 ^a (± 0,16)	0,42 ^a (± 0,08)	0,02 ^a (± 0,013)	0,04 ^a (± 0,008)	0,50 ^a (± 0,13)	0,26 ^a (± 0,04)
Mad. T3	460,39 ^a (± 8,67)	2,02 ^a (± 0,36)	0,02 ^a (± 0,013)	3,38 ^a (± 0,61)	1,71 ^a (± 0,49)	0,32 ^a (± 0,05)	0,00 ^a (± 0,004)	0,03 ^a (± 0,03)	0,46 ^a (± 0,15)	0,24 ^a (± 0,04)
Mad. T4	461,29 ^a (± 7,39)	2,41 ^a (± 0,69)	0,03 ^a (± 0,018)	3,80 ^a (± 0,67)	1,62 ^a (± 4,83)	0,49 ^a (± 0,21)	0,01 ^a (± 0,011)	0,19 ^a (± 0,16)	0,59 ^a (± 0,09)	0,28 ^a (± 0,06)
Galhos T1	438,59 ^a (± 30,31)	2,56 ^a (± 0,43)	0,04 ^a (± 0,007)	3,57 ^a (± 0,28)	6,74 ^a (± 4,05)	0,70 ^a (± 0,22)	0,02 ^a (± 0,008)	0,20 ^a (± 0,17)	0,54 ^a (± 0,07)	0,32 ^a (± 0,03)
Galhos T3	444,46 ^a (± 3,73)	2,90 ^a (± 1,94)	0,03 ^a (± 0,008)	4,78 ^a (± 1,56)	12,34 ^a (± 5,35)	0,32 ^a (± 0,09)	0,01 ^a (± 0,001)	0,32 ^a (± 0,19)	0,68 ^a (± 0,37)	0,44 ^a (± 0,02)
Galhos T4	445,22 ^a (± 16,88)	3,40 ^a (± 4,43)	0,06 ^a (± 0,011)	5,15 ^a (± 3,08)	14,58 ^a (± 6,09)	0,49 ^a (± 0,27)	0,02 ^a (± 0,010)	0,08 ^b (± 0,05)	0,78 ^a (± 0,37)	0,57 ^a (± 0,16)
Casca T1	417,17 ^b (± 6,34)	5,51 ^a (± 0,73)	0,06 ^a (± 0,013)	5,74 ^a (± 0,80)	22,68 ^a (± 1,47)	2,41 ^a (± 0,11)	0,06 ^a (± 0,019)	0,63 ^a (± 0,07)	0,70 ^a (± 0,09)	0,72 ^a (± 0,04)
Casca T3	435,26 ^a (± 0,87)	5,45 ^a (± 0,54)	0,09 ^a (± 0,054)	6,99 ^a (± 1,37)	15,12 ^b (± 2,09)	1,65 ^b (± 0,17)	0,04 ^a (± 0,027)	0,42 ^a (± 0,17)	0,64 ^a (± 0,16)	0,63 ^a (± 0,17)
Casca T4	427,31 ^a (± 5,87)	6,92 ^a (± 1,14)	0,09 ^a (± 0,013)	6,70 ^a (± 0,37)	22,76 ^a (± 2,64)	1,76 ^b (± 0,08)	0,04 ^a (± 0,010)	0,12 ^b (± 0,05)	0,76 ^a (± 0,05)	0,72 ^a (± 0,04)
Folhas T1	497,64 ^a (± 9,45)	29,43 ^a (± 1,91)	0,06 ^a (± 0,008)	8,37 ^a (± 0,34)	8,21 ^a (± 0,75)	1,79 ^a (± 0,07)	0,07 ^a (± 0,03)	1,18 ^a (± 0,09)	2,48 ^a (± 0,07)	2,26 ^a (± 0,07)
Folhas T3	479,45 ^a (± 30,13)	26,02 ^a (± 1,94)	0,08 ^a (± 0,008)	8,18 ^a (± 0,53)	8,74 ^a (± 0,97)	1,61 ^a (± 0,09)	0,06 ^a (± 0,012)	1,25 ^a (± 0,20)	2,46 ^a (± 0,13)	2,12 ^{ab} (± 0,06)
Folhas T4	497,01 ^a (± 21,48)	25,26 ^a (± 1,06)	0,07 ^a (± 0,017)	6,70 ^a (± 1,00)	7,93 ^a (± 1,40)	1,60 ^a (± 0,12)	0,05 ^a (± 0,006)	1,00 ^a (± 0,14)	2,23 ^a (± 0,12)	1,95 ^b (± 0,06)

* Tratamentos com médias não seguidas por mesma letra diferem pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. **Desvio padrão.

T1 = eucalipto solteiro 3 m x 2 m; T3 = eucalipto em sistema agroflorestal (linha dupla); T4 = eucalipto em sistema agroflorestal (linha tripla)

4.6 Relação C/N das culturas envolvidas no sistema agroflorestal (SAF)

Na Tabela 4.6, estão as diferentes relações C/N para os diferentes compartimentos das culturas avaliadas.

Tabela 4.6 – Relação C/N nos diferentes compartimentos constituintes do SAF analisados, Candiota – RS.

Componente	Relação C/N
Sorgo (2006)	
Folhas	34,43
Grãos	27,10
Caule	44,43
Girassol (2007)	
Folhas	10,53
Grãos	16,66
Capítulo	34,60
Caule	32,29
Eucalipto (2007)	
Galhos	205,72
Madeira	263,45
Casca	79,63
Folhas	16,29

O teor de nitrogênio determina a velocidade de decomposição. Quando o tecido apresenta menos de 1% de nitrogênio, a decomposição é bastante lenta. Por outro lado, quando tiver mais de 2% de nitrogênio, a decomposição é rápida, mas sujeita à perda de N para a atmosfera. A decomposição será lenta ou rápida, dependendo de a relação C/N ser maior ou menor que 24.

Na cultura do sorgo, todos os componentes constituintes da planta apresentam relação C/N maior do que 24, ou seja, rápida decomposição. No girassol, os compartimentos folha e grãos apresentam relações C/N mais baixas, indicando lenta decomposição e os

compartimentos capítulo e caule mais altos, indicando rápida decomposição deste material. O eucalipto, com exceção das folhas, apresenta relação C/N alta (acima de 24).

A importância dessa análise está no fato de que se as partes não-comercializáveis das plantas forem deixadas no local da colheita, a fim de liberarem os nutrientes para a ciclagem de nutrientes, serão de extrema importância na sustentabilidade do sistema e também, na redução da necessidade de adubação.

Aita & Giacomini (2006) afirmam que entre as espécies não-leguminosas, a aveia é a principal cultura de cobertura de outono/inverno na região Sul. Destaca-se das demais espécies na produção de fitomassa, além de apresentar os maiores valores para a relação C/N.

4.7 Conclusões

A produção das culturas agrícolas, na área experimental, apresentaram valores superiores aos valores médios obtidos no Brasil para essas culturas;

Na cultura do sorgo, ao se considerar o total de nutrientes e a compartimentalização desses, grande parte dos nutrientes está contida na fração grãos, seguida da fração colmo e folhas;

Na cultura do girassol, ao se considerar o total de nutrientes e a compartimentalização desses, a maioria dos nutrientes está contida na fração folhas, seguida de caule, grãos e capítulo;

Na cultura do eucalipto, analisado aos 16 meses, a maior parte dos nutrientes encontra-se no compartimento folhas, seguida de galhos, madeira e casca. É importante observar que o eucalipto será retirado (colhido) apenas aos 7 anos.

4.8 Referências bibliográficas

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: Manejo de sistemas agrícolas: impacto no seqüestro e nas emissões de gases de efeito estufa. Eds: Alves, B. et al. Porto Alegre: Genesis. 2006.

BELLOTE, A.F.J. Concentração, acumulação e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em função da idade. Piracicaba, 1979. 129. (Tese de Mestrado – ESALQ).

- BRUN, E.J. **Biomassa e nutrientes na floresta estacional decidual, em Santa Tereza, RS.** 2004. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria.
- COELHO, A.M. **Seja o doutor do seu sorgo.** In: Arquivo do Agrônomo n. 14. São Paulo: Potafos, 2002.
- GURGEL FILHO, O.A. Plantio de eucalipto consorciado com milho. **Silvicultura em São Paulo.** 1(1): 85-102. 1962.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/30052003lspa.shtm>. Acessado em 10/02/2007.
- LA TORRACA, S.M.; HAAG, H.P.; MIGLIORINI, A.J. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em latossolo vermelho escuro na região de Agudos, SP. **IPEF**, n. 27, p.41 – 47, ago. 1984.
- LASCA, D.H.C. Girassol (*Helianthus annuus* L.). Disponível em: <http://www.agrobyte.com.br/girassol.htm> Acessado em 10/5/2007.
- LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. São Paulo: EDUSP, 1996.
- MACEDO, R.L.G. **Avaliação holística da fase juvenil do teste de introdução de espécies de *Eucalyptus* na Baixada Cuiabana, Mato Grosso.** Curitiba, 1991. Tese de Doutorado. 231 p.
- MACEDO, R.L.G.; SOARES, R.V.. SOARES, A.R.. “Status” nutricional de *Eucalyptus* (na fase juvenil) introduzidos na baixada Cuiabana, MT. **Cerne**, v.2, n.2, 1996.
- OSTERROHT, Von M. Manejo de Sistemas Agroflorestais (SAFs). **Agroecologia Hoje**, 15: 12-13, 2002.
- PEREIRA, J.C. et al. Estimativa do conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Acacia marnsii* no Rio Grande do Sul – Brasil, **Rev. Árvore**, Viçosa-MG, v.24, n.2, p. 193-199, 2000.
- POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E.C.M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus saligna*. IPEF, Piracicaba, n. 25, p. 37-39. 1983.
- REIS, M.G.F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 09, n. 2, p. 149-162, 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. **IPEF**, n. 56, p. 155 – 169, dez. 1999.

SANTOS, S.R.M.; MIRANDA, I.S.; TOURINHO, M.M. Estimativa de biomassa de sistemas agroflorestais das várzeas do rio Juba, Cametá, Pará. **Acta Amazonica**, vol.34 (1), 2004.

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. 87p. Dissertação(Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba.

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

SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Quantificação de biomassa em povoamentos de *Eucalyptus saligna* Sm. com diferentes idades. **Biomassa & Energia**, v.1, n.4, p. 381-391, 2004.

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

VALE, R. S. Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da zona da mata de Minas Gerais. 2004. Tese de Doutorado. UFV. 115f.

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.

5. ENTRADA DE NUTRIENTES VIA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA EM ÁREA NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL.

Resumo

Este estudo foi realizado na área experimental instalada na Fazenda Aroeira, no município de Candiota, RS. Na área de campo nativo estão instalados 10 funis plásticos, de 23 centímetros de diâmetro, coletores de água da chuva. A quantificação do volume de água armazenado, bem como coleta de amostras compostas para determinação de pH, condutividade elétrica, nitrato, nitrito, amônia, fósforo, enxofre, cloro, cálcio, magnésio, potássio e sódio foram realizadas quinzenalmente. A precipitação total ocorrida no período de setembro de 2006 a agosto de 2007 foi de 1.605,79 mm, sendo 13,56% maior que a média para a região. O pH médio da água da chuva foi 6,58, sendo o menor valor o de 5,66 e este não é considerado como de ocorrência de chuva ácida. A condutividade elétrica média foi 52,84 $\mu\text{S cm}^{-1}$. O sódio apresentou concentração média de 2,52 mg/L; o potássio 1,07 mg/L; o cálcio 1,15 mg/L, o magnésio 0,17 mg/L, o nitrato 0,13 mg/L de N; o nitrito 0,51 mg/L; a amônia 1,14 mg/L; o fósforo 0,66 mg/L; o enxofre 0,19 mg/L; e o cloro 1,60 mg/L. O aporte de nutrientes ao sistema agroflorestral em estudo, via precipitação pluviométrica, ocorreu na seguinte magnitude: Na > Cl > N > K > Ca > S > P > Mg.

Palavras-chave: aporte de nutrientes via precipitação, sistema agroflorestral, precipitação.

Abstract

This study was conducted at Aroeira Farm, in a experimental field, Candiota county, RS. In the native grass area 10 plastic funnels (23 cm of diameter), to collect the rain water. The volume of water stored, as well as, the sample collections for pH, electrical conductivity, nitrate, nitrite and ammonium, phosphorus, sulphur, chlorine, calcium, magnesium, potassium and sodium, were done every two weeks. Total precipitation in the analysed period (from September, 2006 to August, 2007) was 1605,79 mm, being 13,56% higher than the average for the region. The average pH from rain precipitation was 6,58, being the lowest value of 5,66 and it is not considered as acid rain. The average electrical conductivity was 52,84.

Sodium had an average 2,52 mg/L; potassium 1,07 mg/L; calcium 1,15 mg/L, magnesium 0,17 mg/L, nitrate 0,13 mg/L of N; nitrite 0,51 mg/L of N; ammonium 1,14 mg/L of N, phosphorus 0,66 mg/L; sulphur 0,19 mg/L; and chlorine 1,60 mg/L. Total input of nutrients to the agroforestry system happened in the following magnitude: Na > Cl > N > K > Ca > S > P > Mg.

Key-words: nutrients input through rain precipitation, agroforestry system; precipitation.

5.1 Introdução

A água, na verdade, não se perde no sistema. Ela sempre é renovada através do chamado ciclo hidrológico. O ciclo hidrológico consiste no intercâmbio das águas dos rios, lagos e oceanos, envolvendo ainda a atmosfera e o solo (Oleriano & Dias, 2007).

Numa floresta, esta entrada normal de nutrientes é aumentada significativamente após a interação da água da chuva com as copas das árvores, através do mecanismo de lixiviação (EATON et al., 1973) e (LIMA, 1979). Esta lixiviação é, em geral, maior em espécies latifoliadas do que em coníferas (KAUL & BILLINGS, 1965), (WELLS et al., 1972), (PEHL & RAY, 1983). Nem toda a quantidade de nutrientes resultante da lixiviação representa, todavia, adição nova ao solo. Parte é devida ao chamado ciclo biogeoquímico de nutrientes, ou seja, resulta da retirada, pela água, de metabólitos lábeis de folhas das árvores, devolvendo-os ao solo. A outra parte resulta da lavagem das partículas secas captadas pelas copas das árvores, durante a estiagem e, neste sentido, representa uma contribuição extra de nutriente ao solo que é devida à presença da floresta (Johnson & Swank, 1973).

Lima & Barbin (1975) afirmam, que ao interagir com a vegetação, a água da chuva pode sofrer alterações em várias de suas características qualitativas. Esse efeito é particularmente importante em florestas, pois ocorrem alterações tanto na composição química quanto em aspectos físicos na água da chuva que penetra através das copas das árvores.

Ao interagir com as copas das árvores, a água da chuva arrasta quantidades apreciáveis de nutrientes, fenômeno esse referido como lavagem (CAMARGO, 1968). Este processo desempenha papel significativo na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais e tem sido quantitativamente estudado em vários países e em vários tipos de florestas (LIMA & BARBIN, 1975).

Essa interação pode influir significativamente sobre algumas propriedades do solo. McColl (1970) estudou as alterações de qualidade da água da chuva em floresta tropical na Costa Rica. O pH da água da chuva e da precipitação interna (precipitação que ocorre no interior do povoamento mais o escoamento pelo tronco) foi, praticamente, neutro, mas apresentou-se bem mais ácido na água de escoamento pelo tronco. A condutividade dobrou de valor da água da chuva para a da precipitação interna, sendo bem maior ainda para a água do escoamento pelo tronco, possibilitando concluir que o escoamento pelo tronco, embora de pequenas proporções, parece desempenhar papel importante no regime químico e biológico do solo imediatamente ao redor do tronco.

A água tem diversas funções dentro da planta, porém as mais importantes são: constituinte do protoplasma, solvente de substâncias, reagente e produto, manutenção das estruturas moleculares, manutenção da turgidez, termorreguladora, entre outras (MARENCO & LOPES, 2005).

A cobertura florestal possui uma estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, interferindo no movimento da água em vários compartimentos do sistema, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os rios. Uma das principais influências da floresta ocorre já no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente retida pela massa vegetal e em seguida evaporada para a atmosfera, processo denominado interceptação. O restante alcança o piso como gotejamento ou precipitação interna e como fluxo que escoo pelo tronco das árvores (ARCOVA et al., 2003).

Os nutrientes existentes no solo, fator importante da chamada produtividade do sítio, são oriundos de duas fontes principais: o processo de intemperismo das rochas e a adição pelas chuvas. A manutenção dessa produtividade ao longo de sucessivas rotações florestais depende da velocidade de liberação de novos nutrientes pelo intemperismo e pela adição através das chuvas. As chuvas, portanto, constituem importante fonte de nutrientes para os ecossistemas florestais.

A quantificação do primeiro processo é difícil. Em longo prazo é, sem dúvida, processo importante na renovação do estoque de nutrientes do solo. Em curto prazo, todavia, na escala de utilização do solo pelas plantações florestais, a dependência dessa manutenção pela entrada de nutrientes, via atmosfera, passa a preponderar (Lima, 1985).

A liberação de nutrientes da folhagem de um ecossistema florestal, causada pela chuva incidente, é atribuída a fatores associados diretamente à planta, tanto quanto aos associados ao ambiente, tais como idade das folhas, seu estágio de senescência, propriedades físicas e

químicas da superfície foliar, concentração de nutrientes no tecido foliar e na água da chuva, temperatura e luminosidade, intensidade e volume de chuva (Tukey Junior; Parker apud Rodrigues & Miranda 1992).

Eaton et al. (1983) afirmam que numa floresta, a entrada normal de nutrientes é aumentada significativamente após a interação da água da chuva com as copas das árvores, através do mecanismo de lixiviação.

As características químicas das precipitações pluviais podem ser afetadas por materiais com característica ácida originários de várias fontes, quer sejam naturais ou decorrentes da atividade humana, que podem reduzir o pH da água da chuva a valores inferiores a 5,65 (pH da água pura em equilíbrio com a pressão normal de CO₂ da atmosfera), considerado como limite de definição de chuvas ácidas (HAAG, 1985).

Os principais poluentes que causam a acidificação do vapor de água, oriundos da queima de combustíveis fósseis, são o dióxido de enxofre (SO₂) e os óxidos de nitrogênio (Nox), que, ao reagirem com o vapor de água presente na atmosfera, formam soluções fracas de ácido sulfúrico e de ácido nítrico. Também há fontes naturais de acidificação das chuvas, como decomposição de vegetais, atividade bacteriana no solo, erupções vulcânicas e aerossóis marinhos, por exemplo (BEARDSLEY, MELLO & MOTA, FEPAM apud CUNHA & DALMAGO, 2000).

As indústrias químicas e as centrais térmicas jogam na atmosfera produtos contaminadores, como os gases dióxido de enxofre e monóxido de nitrogênio os quais, com a ajuda do ozônio das camadas baixas da atmosfera, oxidam-se e, com a umidade da chuva, convertem-se em ácidos que se espalham pela terra, águas, árvores e plantações. O solo perde a fertilidade e os animais aquáticos e aves, acostumados com ambientes limpos não se adaptam a esses terrenos que perdem sua vegetação natural (CHUVA ÁCIDA, 2007).

Devido à grande importância de se estudar a composição química da água da chuva, com o objetivo de se compreender os mecanismos de incorporação de compostos de origem antropogênica e alguns cátions e ânions, este estudo objetivou, principalmente, quantificar a entrada de nutrientes em um sistema agroflorestal via precipitação pluviométrica,

5.2 Material e Métodos

5.2.1 Funis coletores de água da chuva

Em uma área de campo nativo (Tratamento 2), dentro da área experimental localizada na Fazenda Aroeira, no município de Candiota (RS), foram instalados 10 funis plásticos coletores de água da chuva, com 23,0 cm de diâmetro, posicionados a 2,20 m de altura, os quais têm por finalidade, armazenar a água da chuva que ocorre fora da floresta.

Os funis (Figura 5.1) estão acoplados a bombonas plásticas com capacidade de 12,5 l que estão acondicionadas em caixas de fibra envolvidas por camada de isopor, a fim de manter temperatura constante e evitar formação de algas e outros microorganismos.

Quinzenalmente essa água foi coletada e teve seu volume quantificado através de uma proveta (Figura 5.2 a e b), fazendo-se 5 amostras compostas. No momento da coleta, as bombonas eram lavadas com água destilada, bem como os funis e as mangueiras. Mensalmente as bombonas e mangueiras são lavadas com um lava-jato e com descontaminante e, posteriormente, lavadas com água destilada.

As amostras coletadas foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, onde foram determinados os teores de: Nitrato, Nitrito, Amônia, Fosfato, Sulfato, Cloreto, Cálcio, Magnésio, Potássio e Sódio; bem como o pH e a condutividade elétrica das mesmas.



Figura 5.1 – Funis coletores de água da chuva, instalados na área de campo nativo.

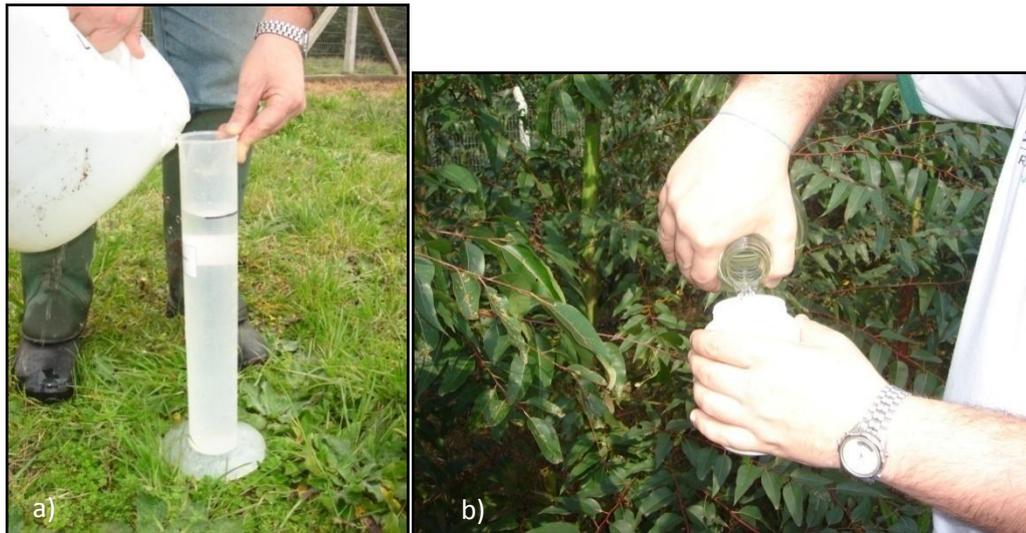


Figura 5.2 – a) Quantificação do volume de chuva armazenado; b) coleta das amostras de água da chuva.

5.2.2 Análises químicas

As amostras de água da chuva coletadas no campo, após serem encaminhadas ao laboratório foram analisadas segundo a metodologia “Standars methods for the examination of water and wastewater” (1998), onde como pré-tratamento passaram por filtração simples (poros de 15 μm) e posteriormente os ânions foram analisados por cromatografia iônica, cálcio e magnésio por espectrometria de absorção atômica, potássio e sódio por fotometria de chama, pH com pHmetro contendo eletrodo de vidro e condutividade elétrica com condutivímetro contendo célula de condutividade.

5.2.3 Quantificação da entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica

Com base nas análises químicas realizadas da água coletada em área de campo e juntamente com o volume da precipitação ocorrida no período, foi possível calcular o aporte de nutrientes ao sistema agroflorestal em estudo.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Precipitação pluviométrica total coletada na área de estudo

Na Figura 5.3, verifica-se a precipitação mensal ocorrida na área de estudo no período entre setembro de 2006 e agosto de 2007.

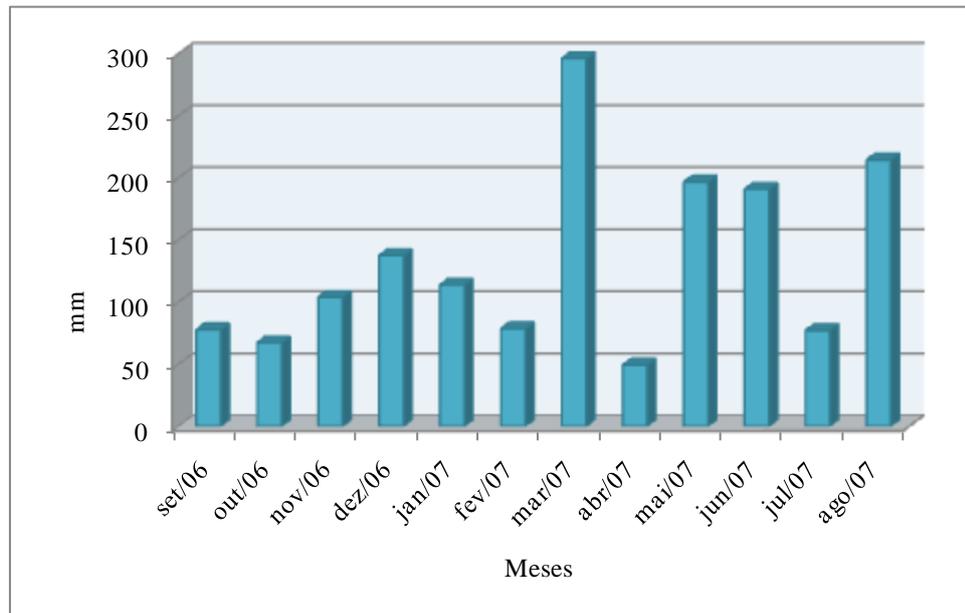


Figura 5.3 – Precipitação (mm) observada na área de estudo, no período de setembro de 2006 a agosto de 2007, Candiota – RS.

Com base no gráfico da acima, é possível verificar a precipitação pluviométrica total no período estudado. A média mensal durante os 12 meses estudados foi de 133,81 mm; sendo a menor precipitação observada no mês de abril de 2007 (49,49 mm) e a maior observada no mês de março de 2007 (296,43 mm). O total de precipitação pluviométrica no período foi de 1.605,79 mm. Este valor é 13,56% maior do que a média descrita na literatura para a região. É importante ressaltar que, nos meses onde a precipitação foi mais alta, as concentrações dos elementos tendem a dissolver-se mais; ocorrendo o contrário quando a precipitação apresenta-se em menor volume.

A precipitação é uma das principais fontes de nutrientes e íons para ecossistemas aquáticos e terrestres (Lewis Jr., 1981). A natureza de seus constituintes químicos é variável, sendo dependente da fonte e quantidade de poluição industrial, da direção dos ventos

predominantes, da proximidade do mar e das atividades do uso da terra (Castro apud Arcova et al. 1985).

5.3.2 Caracterização dos elementos que entram no sistema via precipitação pluviométrica

5.3.2.1 O pH da água da chuva

O pH na água da chuva não apresentou uma variação muito acentuada entre as coletas realizadas, apresentando valor médio de 6,58; sendo o máximo valor encontrado em setembro de 2006 (7,73) e o menor em março de 2007 (5,66), conforme Figura 5.4.

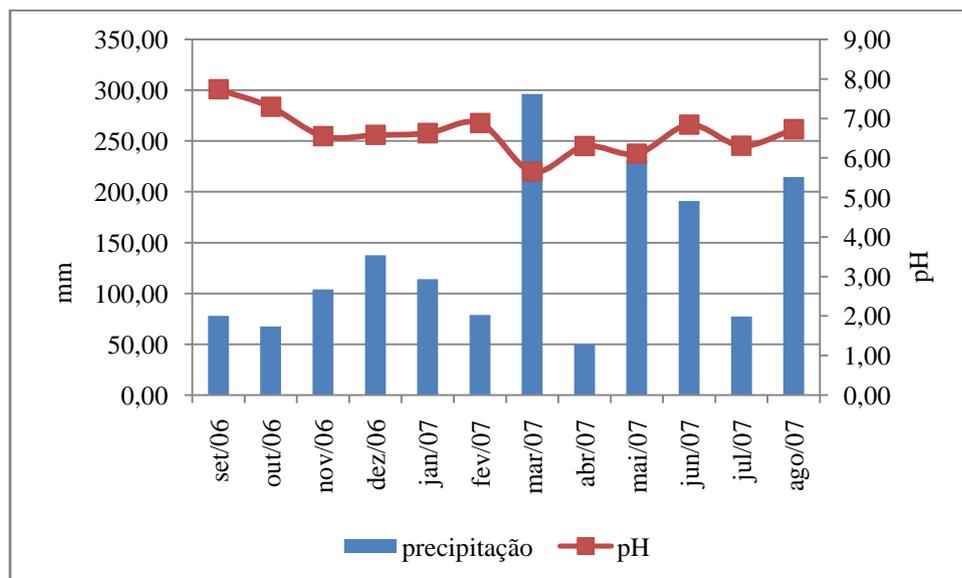


Figura 5.4 – Precipitação pluviométrica (mm) e pH da água da precipitação pluviométrica coletada em área de campo nativo, Candiota-RS.

Os valores de pH obtidos na água da chuva na área em estudo, estão acima do limite crítico de acidificação (pH 5,65), não configurando, por esse índice, preocupação de degradação de ambiente causada pelas características químicas de águas de chuva.

É importante salientar que no mês de março de 2007 ocorreu uma precipitação total de 296,43 mm, fato que explica a ocorrência de menores valores de pH, em virtude da diluição das amostras de água.

Rodrigues & Miranda (1992) concluíram que a chuva incidente apresentou um pH médio de 7,11, indicando que a acidez não seria fator responsável pela liberação dos nutrientes. O pH da precipitação interna apresentou ligeiro decréscimo com valor médio de 6,89. Os acréscimos de Ca, Mg, K e Na na precipitação interna foram de 298%, 492%, 530% e 24%, respectivamente.

Lima (1979) mostrou que a interação da água da chuva com as copas da floresta de *Pinus caribaea* é responsável por ligeira acidificação da água. Durante o período de estudo, as amostras de água da chuva apresentaram pH médio de 5,2, sendo que a média das amostras de água coletadas debaixo da floresta (isto é, a água da precipitação interna, ou seja água da chuva após interação com as copas) foi de 4,5. Em outro estudo, o mesmo autor, Lima (1985), observou que o pH médio anual da água da chuva é 6,0. Nas parcelas de pinheiros tropicais o pH médio foi de 5,8, e nas de cerrado foi de 5,9. Dentro das parcelas florestadas, ou seja, na precipitação interna, o valor médio mais baixo ocorreu no mês de julho, pico da estação seca e época normal de queimadas na região canavieira que circunda a área.

Figueiredo (2007) afirma que a água da chuva é naturalmente ácida. O gás carbônico presente na atmosfera, solubiliza-se nas nuvens e na chuva, transformando o ácido carbônico. O H_2CO_3 , ácido fraco confere à chuva um pH de 5,60, indicando que a chuva já é levemente ácida.

De acordo com o site Chuva Ácida (2007), em pH próximo a 6,0, algumas espécies de crustáceos, insetos e plânctons começam a desaparecer. Em pH próximo a 5,0, ocorrem variações mais significativas na comunidade planctônica, algumas espécies de musgos e plânctons começam a proliferar e inicia-se uma progressiva perda de algumas populações de peixes menos tolerantes à acidez.

Campos et al (1998), em estudo de comparação de dois tipos de amostragem de chuva concluíram que os valores de pH da água da chuva amostrada variaram de 4,85 a 6,74; esses dados apresentam valores menores que os encontrados nesse estudo (5,09 – 7,78).

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado no município de Itaara, no Rio Grande do Sul, afirmam que o valor médio do pH da água da chuva em campo aberto foi de 6,28, enquanto em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de *Pinus* no sul do Brasil, encontraram como valor médio de pH 5,32, em área de campo adjacente a plantio de *Pinus*.

Souza et al. (2007), em estudo da análise da qualidade das águas das precipitações em aberto e efetiva em um fragmento secundário da Mata Atlântica, no município de Viçosa, MG encontraram valores médios de pH da água na precipitação em aberto de 6,55, com valor

mínimo de 5,98 e máximo de 7,32. No período de estiagem, o pH da água da precipitação em aberto diminui sensivelmente, enquanto o pH da precipitação interna se eleva, provavelmente pela quantidade de concentrados que permitem o aumento do pH.

Estudos realizados por Moreira-Nordeman et al. [2000], em diferentes locais do Brasil, encontraram os seguintes valores médios de pH: Fortaleza (precipitação de 1.757 mm) 5,3; Natal (precipitação de 1.658 mm) 5,0; Salvador (precipitação de 2.588 mm) 5,6; Niterói (precipitação de 1.506 mm) 5,4; Caraguatatuba (precipitação de 1.672 mm) 4,0 e Florianópolis (1.358 mm de precipitação) 5,7.

5.3.2.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica média verificada nas amostras de água da chuva coletadas, apresentou valores diferenciados ao longo do período, como pode ser visto na Figura 5.5.

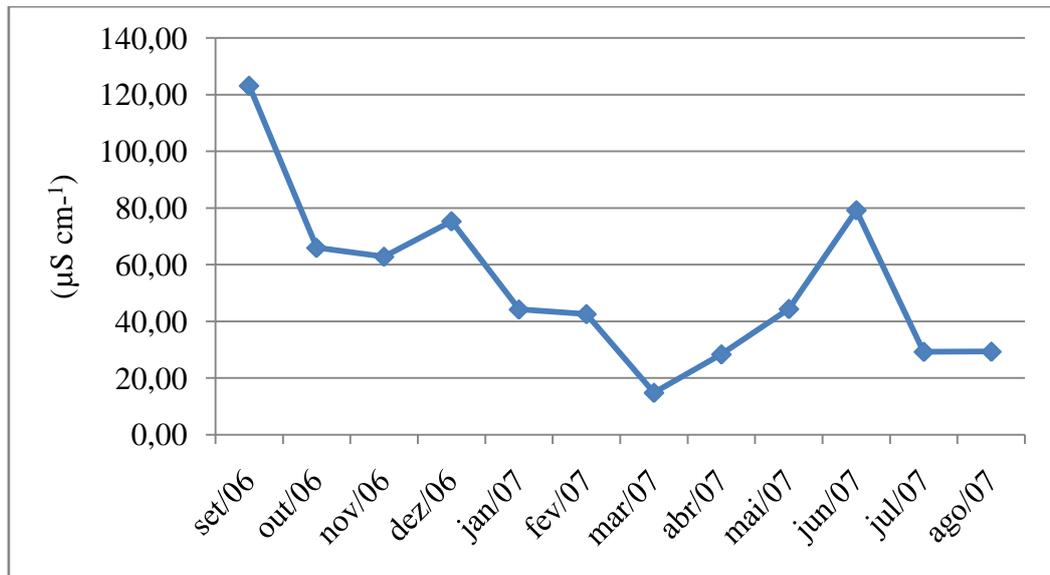


Figura 5.5 – Variação da condutividade elétrica da água da chuva, coletada em área de campo nativo – Candiota, RS.

O valor médio da condutividade elétrica foi 52,81 $\mu\text{S cm}^{-1}$; sendo o maior valor observado foi na amostra coletada em setembro de 2006 (123,14 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e o menor valor foi observado em março de 2007 (14,79 $\mu\text{S cm}^{-1}$), isso se deve ao efeito da diluição da amostra.

Coluna et al. (2007) afirmam que a condutividade elétrica é uma expressão numérica da capacidade de uma água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a $100\mu\text{S cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados. A condutividade também fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (CETESB, 2007).

Segundo Lima (1979), a chuva no interior de uma floresta de *Pinus caribaea*, tende a apresentar maior condutividade quando esta ocorre após algum período seco. Por outro lado, a condutividade da água da chuva tende a diminuir com o aumento da duração da chuva, ou com o aumento do período de chuvas. Já para o caso de amostras da precipitação interna, os valores médios de condutividade da água da precipitação interna tendem a aumentar bruscamente, em consequência tanto da maior deposição de partículas de poeira sobre as copas, como também pela maior quantidade de íons laváveis que se tornam disponíveis nas acículas das árvores.

O parâmetro condutividade elétrica é muito utilizado em regiões que apresentam baixos índices pluviométricos, como as regiões de clima árido e semi-árido ou áreas litorâneas que possuem influências do sal do mar, principalmente, porque podem apresentar concentração de sais em solução a níveis que prejudiquem o desenvolvimento de certos cultivos. Nas regiões tropicais úmidas, a condutividade elétrica não é um fator que gera preocupação aos produtores rurais, em função da quantidade de sais presentes em solução do solo ser pequena, não possuindo capacidade de interferir no desenvolvimento dos cultivos (Brandão & Lima, 2002).

Campos et al. (1998) em estudo da deposição úmida encontraram como valor médio para a condutividade elétrica de $23,2 \mu\text{S/cm}$; sendo bem inferior ao encontrado neste estudo.

Souza et al. (2007) afirmam que o aumento da condutividade elétrica indica estar ocorrendo, também, aumento na concentração de íons nesse compartimento durante os meses de abril e maio, o que está associado à diminuição na ocorrência de chuva nesse período. Os baixos valores da condutividade elétrica da água para a precipitação em aberto indicam que estas foram chuvas com poucos íons dissolvidos, que após a passagem pelo dossel recebeu adição de íons orgânicos e inorgânicos.

5.3.3 Nutrientes na água da chuva

De acordo com a Resolução 357, de 17 de Março de 2005 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), essa água da chuva coletada na área de campo nativo é classificada como Água Doce, classe 3, ou seja, águas que podem ser destinadas: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) à pesca amadora; d) à recreação de contato secundário; e e) à dessedentação de animais.

Leal et al. (2004), em estudo sobre a composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo encontraram relação Na/Cl igual a 1,75, e esta está fora da faixa de 0,5 – 1,5 recomendada pelo Grupo de Estudos de Poluição do Ar da União Européia para indicar fonte marinha, decidindo-se então, não considerar como única fonte do sódio, a brisa marinha. Apesar da alta correlação entre sódio e cloreto ($r=0,94$), considerou-se o cloreto e também os íons sulfato, cálcio e magnésio como espécies de origem predominantemente continental/antropogênica.

Ferreira et al. (2006) afirmam que em estudos com dados de fluxo de íons na Reserva Floresta Adolpho Ducke, próximo a Manaus, obtiveram-se os seguintes valores: cloreto (13,6) ; sódio (8,4) ; amônia (6,60), potássio (2,40) e fosfato (0,10) (em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$). Após percolar o dossel (precipitação interna), as concentrações de nutrientes ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) são aumentadas para : cloretos (29,9), potássio (22,1), sódio (11,10), amônia (7,4) e fosfato (0,27).

5.3.3.1 Sódio (Na)

Na Figura 5.6, é possível analisar os teores de sódio encontrados na água da chuva na área em estudo. O maior teor ocorreu na amostra coletada em agosto de 2007 (3,56 mg/L). O menor teor de sódio foi encontrado na coleta realizada no mês de março (1,15 mg/L), sendo este o período que apresentou maior volume de chuva, 296,43 mm. Isso pode parcialmente explicar a baixa concentração de sódio nessa coleta, uma vez que a mesma se dissolve no grande volume de água armazenado. No período analisado, ou seja, 12 meses, o teor médio de sódio nas amostras de precipitação pluviométrica é 2,51 mg/L.

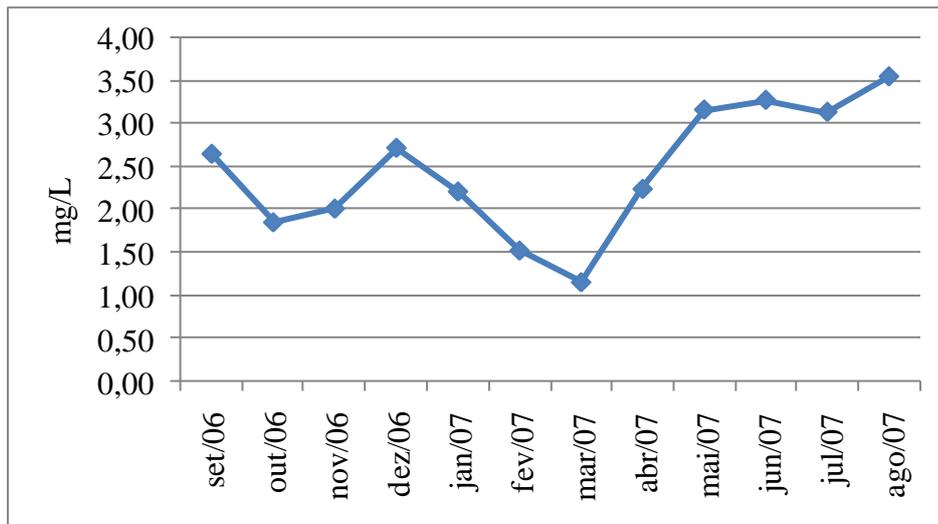


Figura 5.6 – Concentrações médias de sódio (Na) encontradas na água da chuva, em área de campo nativo – Candiota, RS.

A possível fonte de parte da entrada desse sódio no sistema em estudo é através do “spray” advindo do mar, uma vez que a área localiza-se a uma distância de, aproximadamente, 161 km, em linha reta. De acordo com a Figura 5.7, é possível observar o comportamento das concentrações médias de sódio na água da chuva coletada em área de campo nativo, em três diferentes localidades no estado do Rio Grande do Sul.

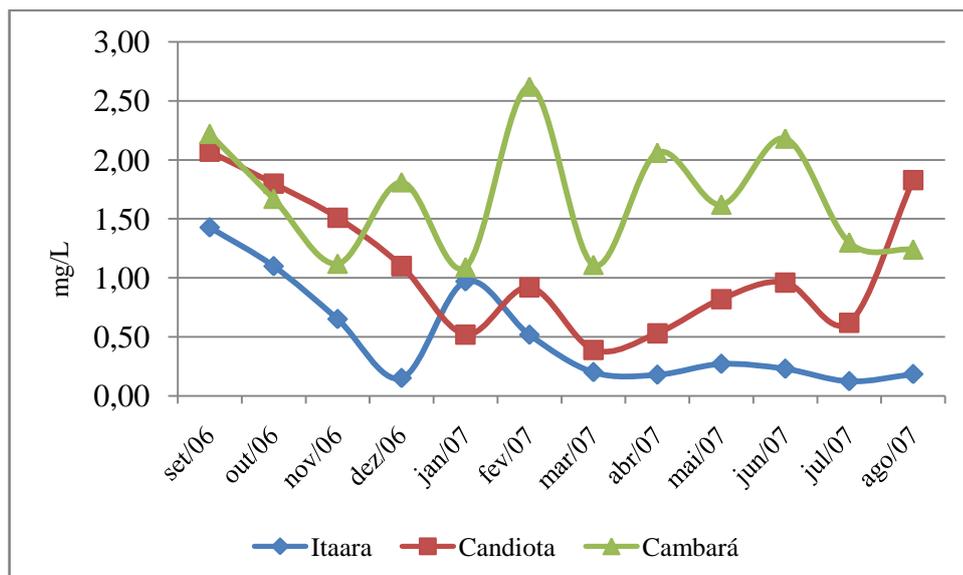


Figura 5.7 – Comparação entre as concentrações médias de sódio, em área de campo nativo, em três estudos semelhantes e em três localidades diferentes no estado do Rio Grande do Sul.

Com base na Figura acima, pode-se observar que na localidade de Cambará do Sul, localizada a 53,0 km do oceano, apresentou as maiores concentrações médias de sódio, Candiota (local de realização desse estudo, localizada a 165 km do oceano) apresentou concentrações médias menores que Cambará do Sul, porém maiores que Itaara, localizada a 365 km do oceano. Então, pode-se afirmar que quanto mais próximo ao oceano for localizada a área, maior será o aporte de sódio, advindo do “spray” marinho.

Ranzini & Lima (2002), em estudo do comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP, encontraram como concentração média de Na na água da chuva 2,10 mg/L, sendo este valor próximo ao encontrado neste estudo.

Arcova, Cicco & Lima (1985) encontraram em estudo de balanço de nutrientes em bacia hidrográfica experimental, em São Paulo, a concentração média de Na no valor de 1,50 mg/L.

Estudos anteriormente realizados, em diferentes localidades e por diferentes pesquisadores, encontraram valores para a concentração de 0,38 mg/L (em estudo realizado em São Paulo por Moreira-Nordemann, 1986) a 4,5 mg/L (em estudo realizado em Niterói e em Sepetiba, ambos no estado do Rio de Janeiro, por Mello & Motta, 1988).

Campos et al. (1998), ao estudarem a deposição úmida em área costeira, encontraram como valores médios para a concentração de sódio (Na) o valor de 110 $\mu\text{mol/L}$.

Schumacher et al. (2007), em estudo semelhante a esse, no município de Itaara, encontraram concentrações de 1,69 mg/L de sódio na precipitação em campo aberto e 2,97 mg/L na precipitação ocorrida no interior da floresta.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, em área de campo nativo, encontraram como concentração média de sódio o valor de 1,73 mg/L.

5.3.3.2 Potássio (K)

O maior valor encontrado foi 2,17 mg/L na coleta realizada em setembro de 2006, e o menor valor, 0,39 mg/L, na coleta realizada em março de 2007 (sendo esse o período de maior precipitação ocorrida na área de estudo). A concentração média de potássio nas amostras é de 1,07 mg/L, Figura 5.8.

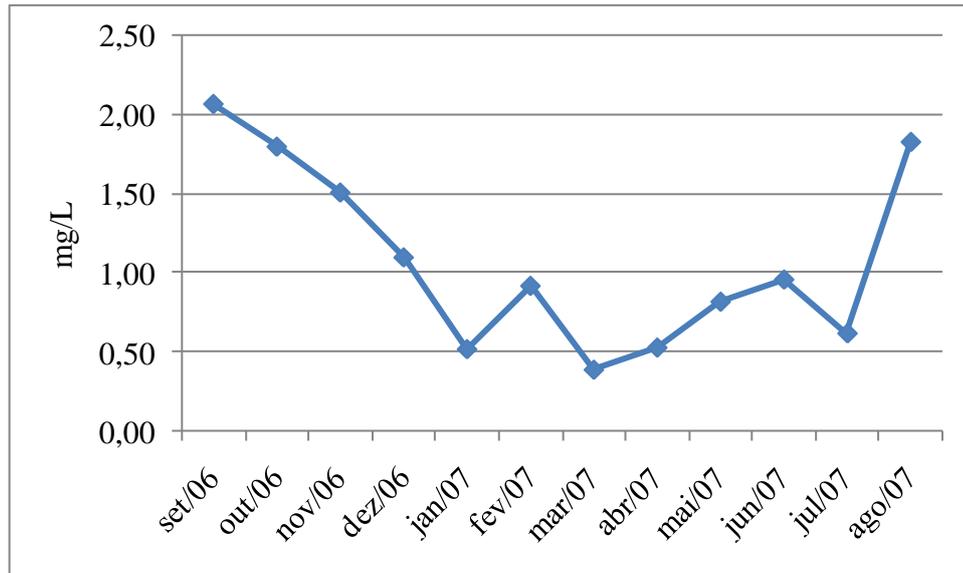


Figura 5.8 – Concentrações médias de potássio (K) na água da chuva, coletada na área de campo nativo, Candiota- RS.

Na Figura 5.9 abaixo, é possível perceber a variação nas concentrações de potássio (K) em três localidades diferentes no estado do Rio Grande do Sul, onde existem funis coletores de água da chuva instalados em área de campo.

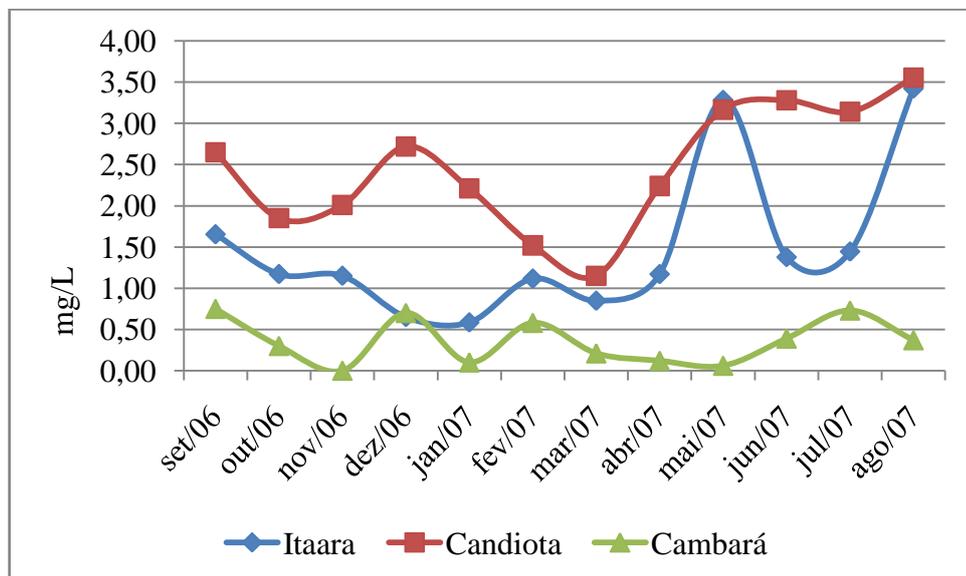


Figura 5.9 – Comparação entre as concentrações médias de potássio, em três estudos semelhantes e em três localidades diferentes, no estado do Rio Grande do Sul.

O potássio é um dos elementos mais importantes na fisiologia das plantas, pois uma vez dentro da planta o potássio está pronto para desempenhar diversas funções: regulação da turgidez do tecido; ativação de cerca de 60 enzimas; abertura e fechamento dos estômatos; transporte de carboidratos; transpiração; resistência à geada, seca e salinidade; resistência às doenças; efeito benéfico na qualidade dos produtos, quanto a cor, tamanho, acidez, resistência ao transporte, manuseio, armazenamento, valor nutritivo e qualidades industriais (MALAVOLTA, 1980).

Estudos previamente realizados por outros pesquisadores obtiveram valores na concentração de potássio variando de 0,20 mg/L (Pedlowisk, 1990) a 0,78 (Mello & Motta, 1988).

Ranzini & Lima (2002) encontraram como concentração média de K o valor de 0,49 mg/L em estudo do comportamento hidrológico no Vale do Paraíba, SP.

Arcova, Cicco & Lima (1985), em estudo do balanço de nutrientes em bacia hidrográfica descrevem como concentração média de K, o valor de 0,60 mg/L.

Schumacher et al. (2007), em estudo semelhante a este, no município de Itaara, determinaram como 0,78 mg/L de potássio na água da chuva, em área de campo.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, encontraram como concentração média de potássio o valor de 0,41 mg/L, em área de campo.

5.3.3.3 Cálcio (Ca)

A concentração média de Ca foi de 1,15 mg/L, sendo a maior ocorrida no mês de setembro de 2006 (5,77 mg/L) e a menor, no mês de janeiro de 2007 (0,29 mg/L), como está demonstrado na Figura 5.10.

As elevadas concentrações de cálcio na água da chuva, nas coletas iniciais, podem ser decorrentes da poeira advinda do trânsito de veículos nas estradas próximas à área experimental bem como da realização de calagem em áreas próximas.

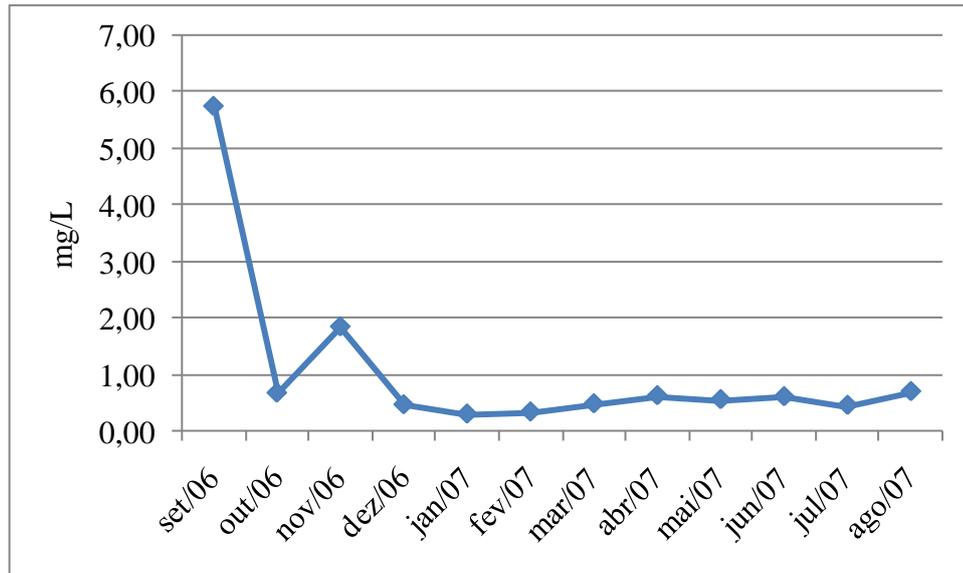


Figura 5.10 – Concentrações médias de cálcio (Ca) na água da chuva na área de campo nativo. Candiota – RS.

Estudos realizados por diferentes pesquisadores, encontraram valores de concentração que variam de 0,34 (Floresta da Tijuca, RJ por Silva Filho, 1985) a 9,5 (Aratu/Salvador, BA por Ferreira & Moreira-Nordeman, 1985).

O cálcio é o quinto elemento mais abundante na crosta terrestre, representando mais de 3% da sua composição (CARVALHO & CHALFOUN, 1991). O cálcio é um elemento de grande importância para a sustentabilidade nutricional das florestas, pois uma vez dentro da planta o Ca estimula o desenvolvimento das raízes e das folhas, forma compostos que são parte das paredes celulares (isto reforça a estrutura das plantas). Ajuda a neutralizar ácidos orgânicos nas plantas. Além disso, melhora o desenvolvimento das raízes, estimulando a atividade microbiana e aumentando a disponibilidade e a absorção de outros nutrientes (MALAVOLTA, 1980).

Segundo Malavolta et al., (1997) o cálcio tem muitos efeitos no crescimento e desenvolvimento da planta: atrasa o amadurecimento, a senescência e a abscisão; melhora a qualidade dos frutos, a fotossíntese; outros processos, como a divisão celular, movimento citoplasmático e o aumento do volume celular, estão relacionados com o baixo teor de Ca nesses tecidos.

Outra função do cálcio é de diminuir a acidez dos solos (carbonato de cálcio), deixando um solo com pH próprio para a produção ou manutenção das florestas. O cálcio é disponibilizado principalmente ao solo pela adição de calcário e fertilizantes que possuam

esse elemento em sua formulação. Outra importante forma de adição de Cálcio ao solo é através da água da chuva.

Arcova, Cicco & Lima (1985) encontraram o valor médio para a concentração de Ca de 1,43 mg/L, sendo este valor semelhante ao encontrado neste estudo.

Ranzini & Lima (2002) encontraram, em estudo realizado no Vale do Paraíba, SP a concentração média de Ca no valor de 0,35 mg/L.

Schumacher et al. (2007), em estudo semelhante a este, no município de Itaara, encontraram como concentração média de cálcio, na precipitação ocorrida em campo aberto, o valor de 0,21 mg/L e 1,06 mg/L na precipitação coletada no interior da floresta.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, encontraram como concentração média de cálcio o valor de 0,28 mg/L.

5.3.3.4 Magnésio (Mg)

A concentração média de Mg na área de estudo foi 0,17 mg/L, sendo a maior em outubro de 2006 (1,00 mg/L) e a menor em março de 2007 (0,02 mg/L), como pode ser observado na Figura 5.11.

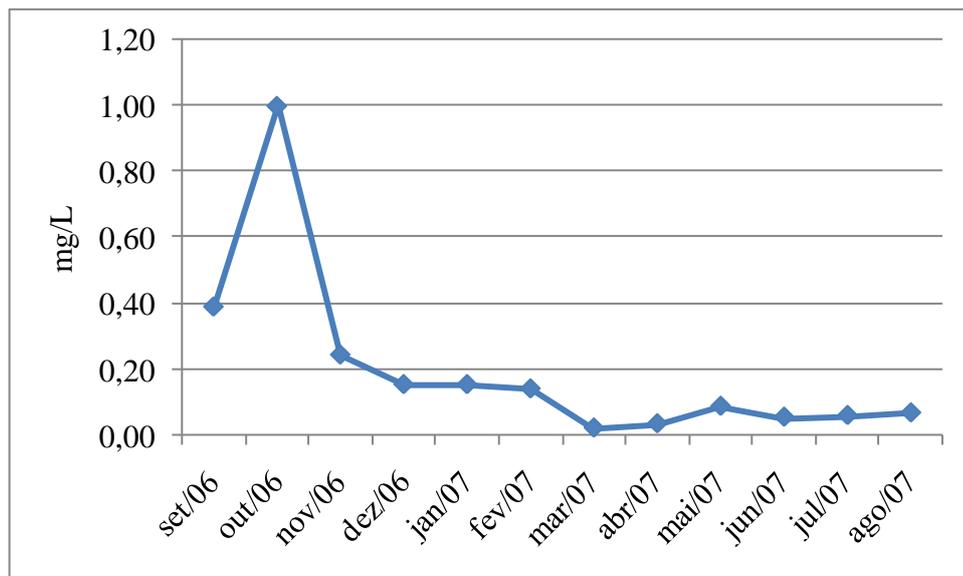


Figura 5.11 – Concentrações médias de magnésio (Mg) na água da chuva em área de campo nativo – Candiota, RS.

Estudos realizados anteriormente, encontraram valores para a concentração de magnésio variando de 0,30 mg/L (Silva Filho, 1985) a 1,1 mg/L (Moreira-Nordemann, 1986).

Ranzini & Lima (2002) encontraram como concentração média de Mg, o valor de 0,12 mg/L, no Vale do Paraíba, SP.

Arcova, Cicco & Lima (1985) inferiram a concentração média de Mg, no valor de 0,50 mg/L, em estudo realizado na Serra do Mar, SP.

Schumacher et al. (2007), em estudo semelhante a esse, no município de Itaara, verificaram que as concentrações de magnésio variam de 0,06 mg/L na água da chuva fora da floresta para 1,06 mg/L na precipitação no interior da floresta.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, encontraram como concentração média de magnésio o valor de 0,08 mg/L.

5.3.3.5 Nitrogênio (N)

O Nitrogênio foi analisado em três formas: nitrato, nitrito e amônia. É importante ressaltar que a concentração de N é altamente variável, devido ao fato de que este experimento é instalado a campo e nas amostras coletadas algumas vezes ocorriam a presença de fezes de pássaros, insetos e outros organismos, os quais podem ter interferido na concentração desse elemento.

Santos et al.(2006), em estudo realizado para a determinação de compostos de nitrogênio em águas de chuva: NH_4^+ , NO_2^- , e NO_3^- ; afirmam que os compostos de nitrogênio estão entre os mais importantes gases que contribuem para a poluição do ar. A queima de combustíveis emite grandes quantidades de óxidos de nitrogênio, formadores do smog-fotoquímico, produzindo nitrito e nitrato, componentes da chuva ácida. Outro composto importante é a amônia, principal neutralizador da acidez atmosférica, removido pela fase úmida, formando amônio.

5.3.3.5.1 Nitrato

De acordo com a Figura 5.12, é possível perceber que o comportamento do nitrato é bastante variável durante o período analisado, apresentando o maior valor na coleta realizada

no mês de setembro de 2007 (0,236 mg/L de N) e o menor, no mês de fevereiro de 2007 (0,06 mg/L).

A concentração média foi de 0,122 mg/L. Em algumas determinações (coletas), não foi detectada a presença de nitrato nas amostras de água da chuva.

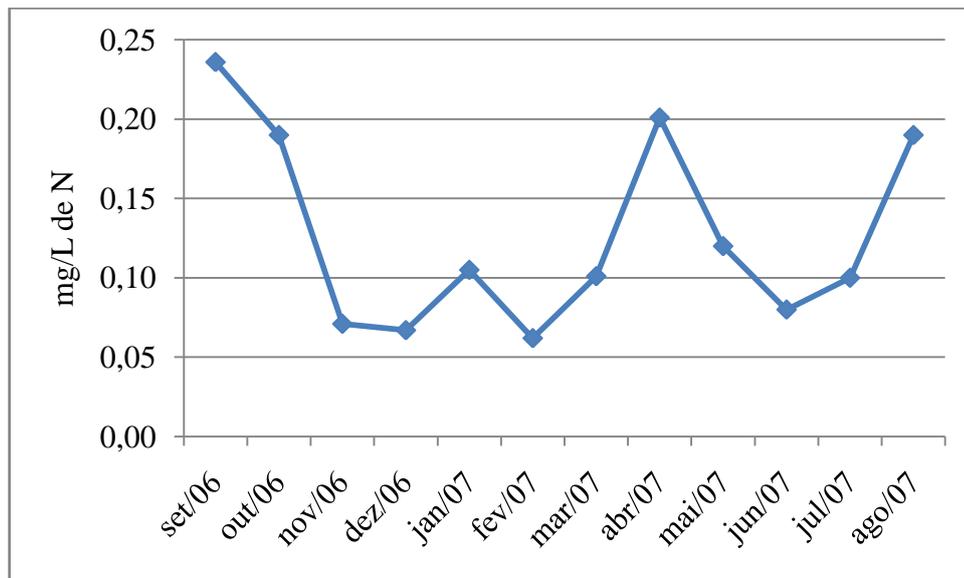


Figura 5.12 – Concentrações médias de nitrogênio, analisado na forma de nitrato, na água da chuva em área de campo, Candiota – RS.

Câmara et al. (2006) apresentam valores considerados intervalos de confiança para variáveis indicadoras da qualidade do manejo florestal em microbacias recobertas pelo plantios de eucalipto, como sendo de 1,30 mg/L a 0,75 mg/L .

Schumacher et al. (2007), em estudo semelhante, no município de Itaara, observaram que as concentrações de nitrato variam de 0,59 mg/L de N na precipitação coletada no campo a 0,65 mg/L de N na precipitação, no interior da floresta.

5.3.3.5.2 Nitrito

O nitrito não esteve presente em todas as amostras de água da chuva analisadas. A maior concentração encontrada estava na amostra coletada no mês de abril de 2007 (2,44 mg/L de N) e a menor na coleta realizada em junho de 2007 (0,01 mg/L de N); sendo o valor de 0,517 mg/L de N, o valor médio da concentração de nitrito nas amostras.(Figura 5.13).

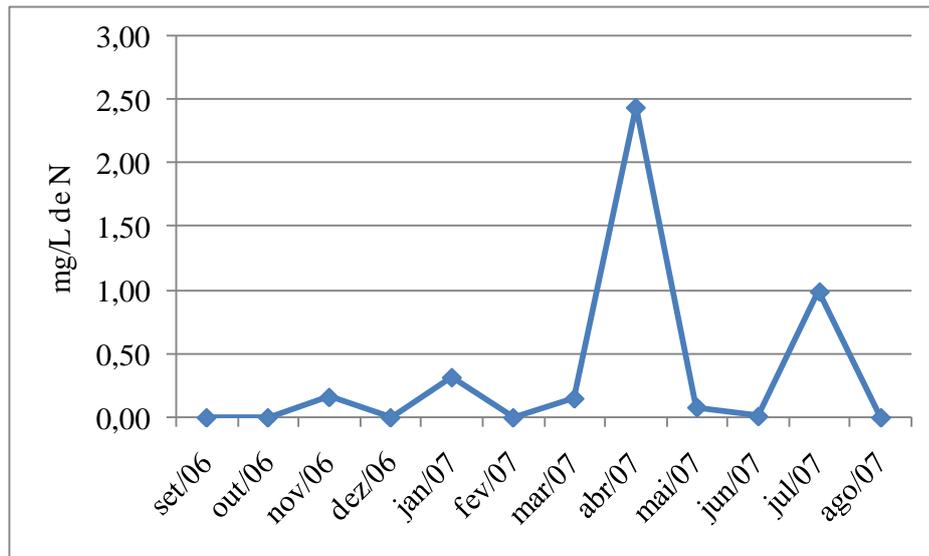


Figura 5.13 – Concentrações médias de nitrogênio, analisados na forma de nitrito, na água da chuva, coletada em área de campo nativo, Candiota – RS.

Schumacher et al. (2007), em estudo semelhante a este, no município de Itaara, determinaram o nitrito no campo no valor de 0,52 mg/L de N, na precipitação ocorrida no campo e de 1,79 mg/L de N na precipitação ocorrida no interior da floresta.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, não detectaram a presença de nitrito nas amostras de água da chuva coletadas.

5.3.3.5.3 Amônia

A amônia foi a principal responsável pelo aporte de nitrogênio no sistema em estudo. Foi detectada sua presença em todas as amostras analisadas durante o período de 1 ano. A maior concentração foi encontrada na amostra coletada em setembro de 2006 (3,40 mg/L de N) e a menor concentração, em março de 2007 (0,21 mg/L de N). É importante ressaltar que esse período foi o de maior precipitação; a concentração média de amônia na água da chuva foi de 1,14 mg/L de N (Figura 5.14).

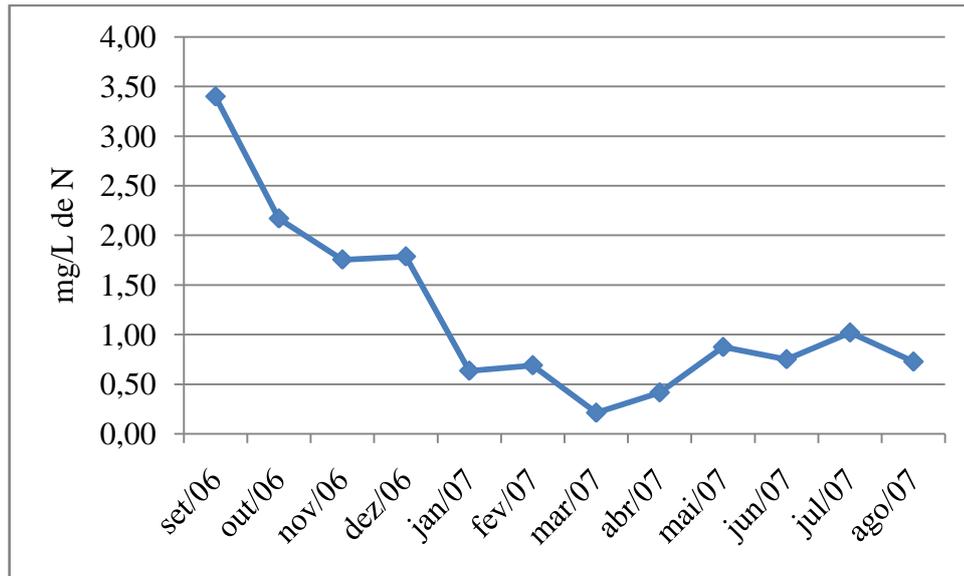


Figura 5.14 – Concentrações médias de nitrogênio, analisadas na forma de amônia, na água da chuva, coletada em área de campo nativo, Candiota-RS.

Essas elevadas concentrações de amônia podem ser parcialmente explicadas pela intensa presença de aves e pássaros no local, que costumam defecar nos funis. As fezes são lavadas com a chuva e contaminam a amostra.

Ranzini & Lima (2002) encontraram a concentração média de 0,80 mg/L na água da chuva, em experimento realizado no Vale do Paraíba, SP, sendo a concentração máxima de 3,31 mg/L e a mínima 0,09 mg/L.

Schumacher et al. (2008), em estudo semelhante, no município de Itaara, não determinaram a presença de amônia na água da precipitação coletada em campo aberto, e, na precipitação captada no interior da floresta, o valor encontrado foi de 0,56 mg/L de N.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, encontraram o valor de 0,34 mg/L de N a concentração média na amostras de água da chuva.

Altas concentrações de amônia indicam poluição orgânica, como esgotos domésticos e fertilizantes. Ocorrem flutuações sazonais das quantidades desse elemento, que resulta da morte de organismos.

4.5.3.6 Fósforo (P)

Observou-se que houve uma ampla variação nos teores de fósforo durante o ano analisado, como pode ser visto na Figura 5.15. A maior concentração foi determinada no mês de junho de 2007 (1,49 mg/L) e o menor, em julho de 2007 (0,00 mg/L).

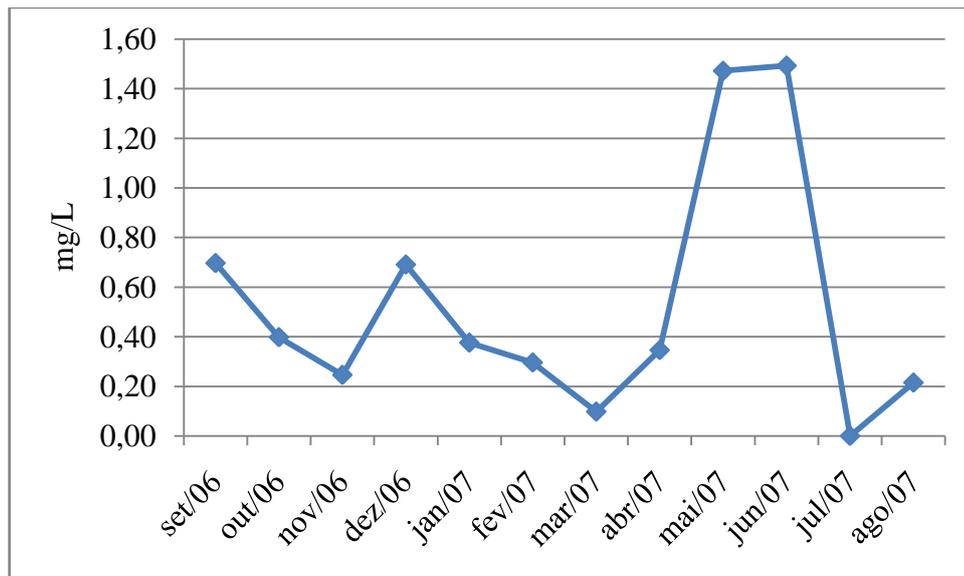


Figura 5.15 – Concentrações médias de fósforo na água da chuva em área de campo, Candiota – RS.

Ranzini & Lima (2002) encontraram como concentração média de fósforo em estudo no Vale do Paraíba, 0,07 mg/L de P, sendo o máximo 0,36 mg/L e o mínimo 0,07 mg/L.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, não detectaram a presença de fósforo nas amostras de água da chuva coletadas.

5.3.3.7 Enxofre (S)

Nas amostras de água da chuva coletadas na área experimental, foi quantificado como valor médio de 0,19 mg/L de enxofre na água da chuva; sendo o maior valor detectado na amostra coletada em junho de 2006 (1,26 mg/L) e o menor em março de 2007 (0,15 mg/L), Figura 5.16.

É importante enfatizar a proximidade da área experimental em relação à Usina Termelétrica de Candiota, fato que pode contribuir para a entrada de alguns elementos no sistema em estudo, principalmente o enxofre.

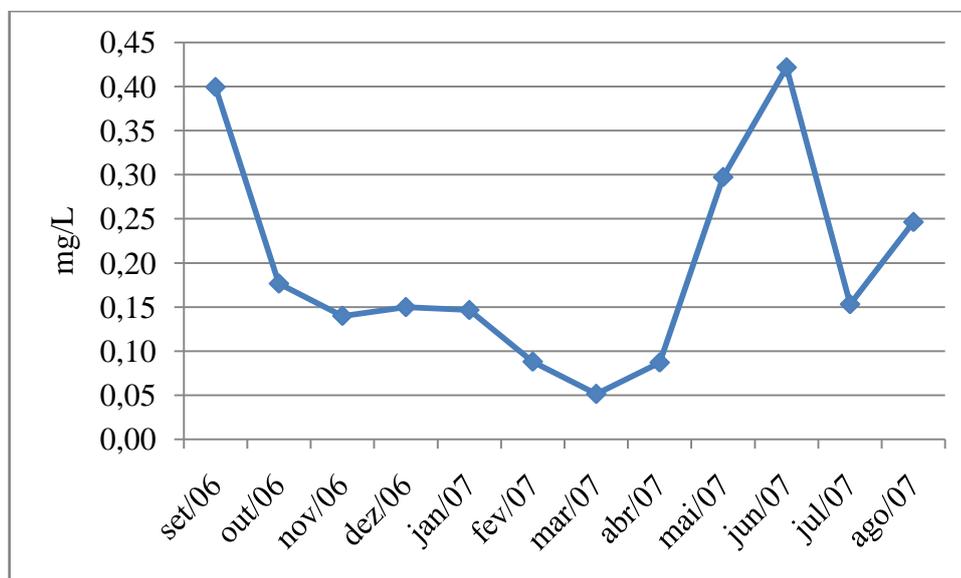


Figura 5.16 – Concentrações médias de enxofre na água da chuva, coletada em área de campo nativo, Candiota-RS.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, encontraram como concentração média de enxofre na água da chuva o valor de 1,01 mg/L.

5.3.3.8 Cloro (Cl)

A concentração média de cloro na água da chuva foi de 1,60 mg/L; sendo a maior concentração no mês de maio de 2007 (2,85 mg/L) e a menor, em fevereiro de 2007 (0,68 mg/L), Figura 5.17.

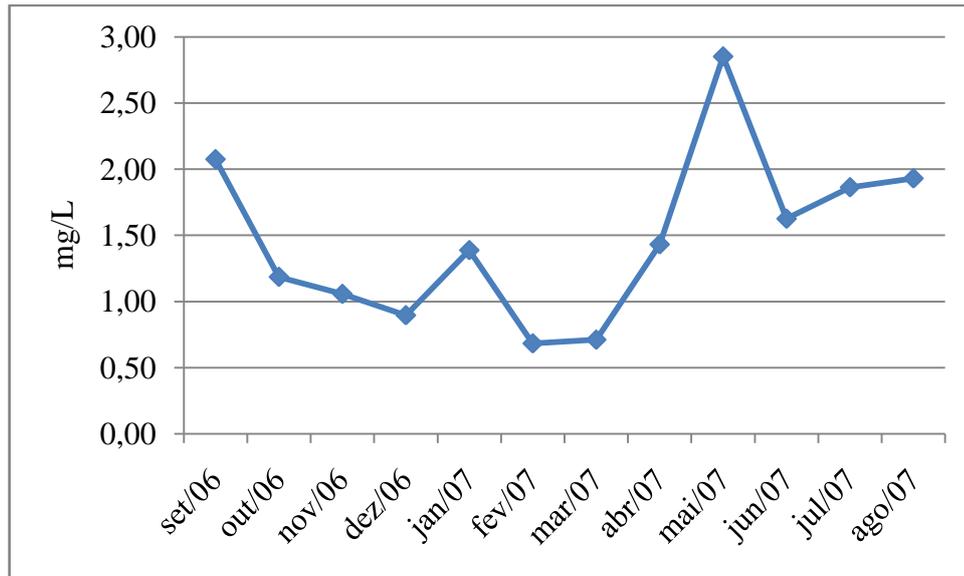


Figura 5.17 – Concentrações médias de cloro na água da chuva, coletada na área de campo nativo, Candiota – RS.

Schumacher et al. (2008), em estudo semelhante a este, no município de Itaara, determinaram os valores de 1,42 mg/L para a precipitação em campo aberto e 3,36 mg/L, na precipitação no interior da floresta.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado no município de Cambará do Sul, encontraram como concentração média de cloro o valor de 1,72 mg/L.

5.3.4 Características gerais

Na Tabela 5.1, abaixo, estão demonstradas as concentrações médias, máximas e mínimas dos elementos avaliados na água da chuva coletada na área de estudo, bem como desvio padrão e coeficiente de variação (CV %).

Tabela 5.1 Concentrações máxima, mínima e média dos nutrientes na água da precipitação pluviométrica coletada na área de estudo.

mg/L	Nutrientes (mg/L)									
	Na	K	Ca	Mg	NO ₂	NO ₃	NH ₄ OH	P	S	Cl
Máxima	3,56	2,07	5,77	1,00	2,44	0,23	3,40	1,49	1,26	2,85
Mínima	1,15	0,39	0,29	0,02	0	0,06	0,2,1	0	0,15	0,68
Média	2,52	1,07	1,15	0,17	0,51	0,12	1,14	0,66	0,63	1,60
σ	1,21	0,85	2,95	0,53	1,29	0,09	1,64	0,76	0,56	1,09
CV(%)	48,01	79,43	256,52	311,76	262,94	75,00	143,85	113,63	88,88	68,12

Com base nas informações contidas na tabela acima, podemos verificar que o desvio padrão (σ) apresentou-se bastante alto, uma vez que, a diferença entre os maiores e menores valores das concentrações dos elementos apresentaram-se bastante variáveis.

Arcova et al. (1985), em estudo do balanço dos nutrientes Ca, Mg, Na, K e NO₃, em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha – SP, encontraram os menores valores de concentração para o Mg e o NO₃ principalmente, nos períodos de chuvas menos freqüentes e relativamente elevadas, atingindo, em geral valores superiores a 40,0 mm semanais, proporcionando a diluição dos aerossóis da atmosfera. Para o Na e o Ca, este período deu-se de agosto a janeiro de 1985, enquanto o K apresentou baixas concentrações em quase todo o período estudado. Possivelmente esses nutrientes foram afetados por outros fatores que não os observados para o Mg e o NO₃. Todos os nutrientes apresentaram os picos de concentração em épocas precedidas por um período seco mais pronunciado; isto é claramente observado nos meses de junho e julho. A quase ausência de chuvas no primeiro mês (apenas 4,0 mm precipitaram sobre a bacia hidrográfica) proporcionou o acúmulo de aerossóis no compartimento atmosférico. Com as precipitações de julho, essas partículas foram arrastadas pelas gotas de chuva, e conseqüentemente as concentrações foram elevadas.

5.4 Aporte de nutrientes pela precipitação pluviométrica

Na Figura 5.18, abaixo, é possível verificar o aporte dos nutrientes ao sistema via precipitação pluviométrica no período de 12 meses.

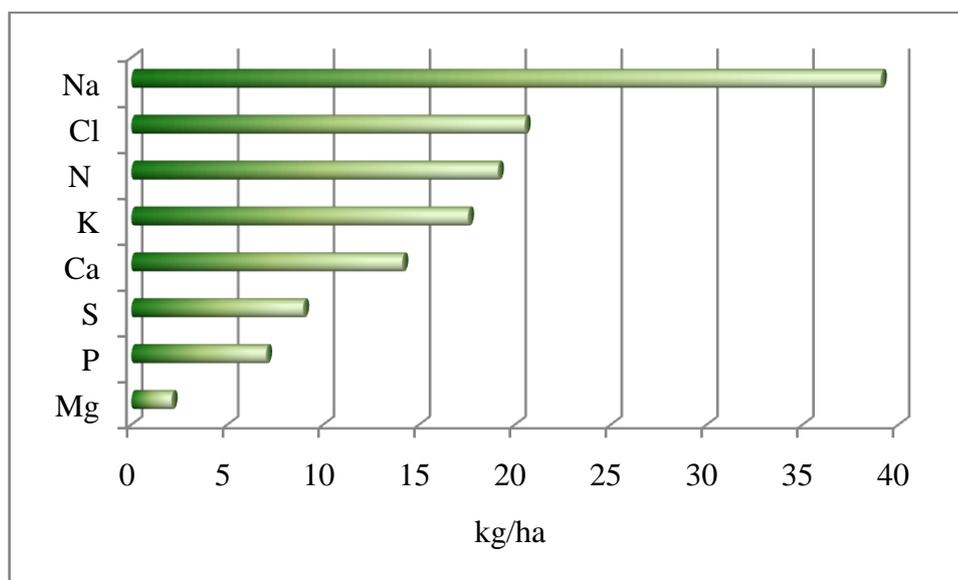


Figura 5.18 – Entrada total de nutrientes, via precipitação pluviométrica (kg ha^{-1}), no sistema agroflorestal estudado, no período de setembro de 2006 a agosto de 2007, Candiota – RS.

Em relação ao aporte total de nutrientes via precipitação pluviométrica na área estudada, foi observado que: o sódio (Na) foi o nutriente que entrou no sistema em maior quantidade no período de 1 ano, totalizando $39,08 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo a precipitação ocorrida nos meses de dezembro de 2006, maio, junho e agosto de 2007, responsáveis pelo aporte de 59,13% do total (3,75 kg em dezembro, 5,01 kg em maio, 7,01 kg em junho e 7,35 kg em agosto). A precipitação pluviométrica total ocorrida neste período foi 740,24 mm.

As elevadas concentrações de Na devem estar associadas à proximidade do mar em relação à área estudada. Walling apud Arcova et al. (1985) considera que, quando a principal fonte de aerossóis é a superfície do mar, a atmosfera será rica em Na, Cl, Mg e K. Assim, acredita-se também que as concentrações dos dois últimos cátions devem ser influenciadas pelo vento e massas de ar oriundas da região costeira. Já o Ca e o NO_3 devem ter como principal fonte a poeira proveniente dos solos.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como aporte total de sódio no

sistema, o total de 39,67 kg ha⁻¹ ano⁻¹, em área de campo adjacente a plantio de Pinus.

O cloro (Cl) totalizou 20,51 kg ha⁻¹, sendo as precipitações de maio, junho e agosto de 2007 responsáveis por 46,85% do total acumulado durante todo o período estudado. A precipitação no período de maior entrada totalizou 602,54 mm.

O potássio (K), no período total de estudo, totalizou 17,55 kg ha⁻¹, sendo os meses de setembro e dezembro de 2006 e maio e agosto de 2007 os responsáveis pelo maior acúmulo desse nutriente no sistema; totalizando 54,47% do aporte total. Segundo Câmara et al. (2006), em estudo do aporte de nutrientes em áreas com *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*, houve um aporte total de 12,6 kg ha⁻¹ ano⁻¹ e 21,7 kg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Schumacher et al. (2008), em estudo em área de campo aberto adjacente a Floresta Estacional Decidual, encontrou o total de 6,92 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de potássio.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como aporte total de potássio no sistema, o valor de 8,81 kg ha⁻¹ ano⁻¹, em área de campo adjacente a plantio de Pinus.

O cálcio (Ca) apresentou um aporte total de 14,12 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo 55,73% desse total acumulado via precipitação pluviométrica ocorrida nos meses de setembro de 2006 e junho e agosto de 2007 (total de 483,67 mm).

Câmara et al. (2006) em estudo dos critérios indicadores hidrológicos de monitoramento em microbacias, fornecem resultados obtidos através das entradas via precipitação realizado na Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga, USP/ESALQ, como sendo na proporção de 24,5 kg ha⁻¹

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como aporte total de cálcio no sistema, o valor total de 5,95 kg ha⁻¹ ano⁻¹, em área de campo adjacente a plantio de Pinus.

O enxofre (S) acumulado no período de 1 ano, totalizou 8,95 kg ha⁻¹, sendo o mês de junho de 2007 responsável por 29,61% do aporte total deste elemento na área em análise. A precipitação nesse período, foi 191,08 mm.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como aporte total de enxofre no sistema, no valor total de 2,64 kg ha⁻¹ ano⁻¹, em área de campo adjacente a plantio de Pinus.

O fósforo (P) foi o elemento que acumulou 7,02 kg ha⁻¹, sendo 61,25% deste total acumulado via precipitação ocorrida nos meses de dezembro de 2006 e junho de 2007 (328,75 mm neste período).

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da

água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como aporte total de fósforo no sistema, o total de $1,36 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em área de campo adjacente a plantio de Pinus.

Câmara et al. (2006) em estudo encontraram os totais de $2,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para áreas com *Eucalyptus saligna* e $3,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para áreas com *Eucalyptus grandis*.

O magnésio (Mg) foi o elemento que contribuiu em menor quantidade, totalizando $2,09 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo 56,45% acumulado nos meses de outubro e dezembro de 2006 (205,17 mm).

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado no município de Itaara, em área de campo adjacente à Floresta Estacional Decidual, totalizou a adição de $0,60 \text{ kg ha}^{-1}$ de cálcio em área de campo aberto.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como aporte total de magnésio no sistema, o total de $1,20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em área de campo adjacente a plantio de Pinus.

O nitrogênio (N) entrou no sistema nas formas de nitrito, nitrato e amônia. A fração amônia foi a principal responsável pelo acúmulo desse nutriente no sistema ($15,48 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, 81,00%), seguido das frações nitrito ($2,18 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, 11,40 %) e nitrato ($1,45 \text{ kg ha}^{-1}$, ou seja, 7,60%).

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como aporte total de nitrogênio, nas frações nitrato, nitrito e amônia, totalizando $8,99 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em área de campo adjacente a plantio de Pinus.

Câmara et al. (2006) em estudo dos critérios e indicadores hidrológicos de monitoramento em microbacias, encontraram aporte de $84,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em área com *Eucalyptus saligna* e $93,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para locais com *Eucalyptus grandis*.

A atmosfera é uma fonte particularmente importante a longo prazo de entrada de nitrogênio. Através das descargas elétricas, nitrogênio molecular é convertido em amônia, nitrato ou outros vários óxidos de nitrogênio que se dissolvem na umidade atmosférica e alcançam o solo juntamente com a precipitação (Pritchett, 1979).

Wolaver (1972) reportou adições de amônia mais nitrato, ao longo da costa dos Estados Unidos, que variaram de 0,3 a 5,0 kg/ha/ano.

Ovington apud Pritchett (1979) calculou uma média de entrada de nutrientes de: nitrogênio de 0,2 a 0,6 kg/ha; 1 a 10 kg/ha de potássio; 3 a 19 kg/ha de cálcio; 4 a 11 kg/ha de magnésio anualmente.

Santos et al. (2006) encontraram as seguintes deposições anuais para NH_4 , NO_2 e NO_3 , respectivamente, 0,6; 0,02 e $1,4 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$. O amônio foi a espécie predominante, seguido do nitrato. As mais altas concentrações de NO_2^- foram observadas em águas de chuva com $\text{pH} > 6,0$. Em meses mais secos, observaram-se concentrações de amônio bem acima da média, enquanto que para o nitrato esse papel não foi observado.

Chang (2006) afirma que, frequentemente, os nutrientes são adicionados ao sistema através da dissolução na água do escoamento superficial ou agrupando-se a partículas erodidas. Os nutrientes podem vir de: erosão do solo ou da água, fertilizantes agrícolas; esgoto doméstico; resíduos de animais e decomposição de resíduos de plantas.

Arcova et al. (1985) afirmam que um fator que possivelmente contribuiu para o enriquecimento de nutrientes, nas amostras de precipitação, foi a deposição de poeira nos coletores, trazida pelo vento de áreas vizinhas, onde se pratica a agricultura, e também de estrada próxima ao local.

Moreira-Nordeman et al. [2000], em estudos realizados em diferentes partes do Brasil, contabilizaram a entrada, em $\text{g/m}^2/\text{ano}$, via atmosfera, os seguintes valores: em Fortaleza 0,70 de SO_4^{2-} , 0,23 de NO_3^- e 0,14 de NH_4^+ ; em Natal, 0,35 de SO_4^{2-} , 0,07 de NO_3^- e 0,05 de NH_4^+ ; em Salvador, 1,58 de SO_4^{2-} , 0,16 de NO_3^- e 0,08 de NH_4^+ ; em Niterói, 2,50 de SO_4^{2-} , 0,63 de NO_3^- e 0,32 de NH_4^+ ; em Caraguatatuba, 1,67 de SO_4^{2-} , 0,80 de NO_3^- e 0,47 de NH_4^+ e em Florianópolis, 1,28 de SO_4^{2-} , 0,60 de NO_3^- e 0,29 de NH_4^+ .

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado no município de Itaara, no Rio Grande do Sul, nos anos de 2004, 2005, 2006 e 2007, obtiveram, como valores médios, uma entrada anual de $2,78 \text{ kg ha}^{-1}$ de cálcio (Ca), $0,60 \text{ kg ha}^{-1}$ de magnésio (Mg) e $6,92 \text{ kg ha}^{-1}$ de potássio (K). Esses valores são significativamente menores aos encontrados neste estudo, o que parcialmente pode ser explicado pela maior precipitação pluviométrica que ocorre na região.

As entradas de nutrientes ao sistema podem ser via precipitação e poeira, e variam de local para local, bem como de acordo com a estação do ano, dependendo amplamente da carga de poeira e da atividade solar.

5.5 Conclusões

A água da chuva (precipitação) é uma importante fonte de entrada de elementos no sistema;

Através de análises da água da chuva, é possível analisar as condições que estão ocorrendo no local, como chuva ácida, contaminação por poluentes e outros elementos;

Em alguns casos, dependendo do aporte de nutrientes via precipitação pluviométrica, é possível se fazer uma redução na necessidade de adubação para algumas culturas;

Ao se analisar a entrada via precipitação pluviométrica, juntamente com outras variáveis, é possível se calcular o balanço hídrico para o local em estudo.

5.6 Referências bibliográficas

APHA – Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, American Water Works, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 1998.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V.; LIMA, W.P. Balanço dos nutrientes Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ e NO_3^- em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural no Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cunha, S.P. **IPEF**, n.31, p. 61-67. 1985

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V.; ROCHA, P.A.B.. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Árvore**, v. 27, n.2, p. 257 – 262, 2003.

BRANDÃO, S.L.; LIMA, S.C. pH e condutividade elétrica em solução do solo em áreas de Pinus e Cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**. 3(6). Junho/2002.

CAMARGO, O.N. **Absorção foliar e lavagem de nutrientes nas plantas**. Piracicaba. ESALQ-USP, 1968. 123 p, (Boletim didático, 20).

CARVALHO, V. D. de; CHALFOUN, S. M. A importância do cálcio na agricultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.15, n.170, p. 17-28. 1991.

CETESB. **Variáveis de qualidade das água**. Disponível em: <http://www.cetesb.org.br>. Acessado em 13/11/2007.

CHANG, M. **Forest Hydrology: An introduction to water and forests**. United States: Taylor & Francis. 474 p. 2006.

CHUVA ÁCIDA – Disponível em: <http://br.geocities.com/otimabr/acida.html>. Acessado em 22/05/2007.

COLUNA, N.M.E.; DIAS, H.C.T.; PINHEIRO, J.A.C.. Análise temporal e espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica do Zerede, Timóteo-MG. ANAIS I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul; o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 207-214.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 357. 2005. Disponível em: www.mma.gov.br/conama. Acessado em 10/04/2007.

EATON, J.S.; LIKENS, G.E.; BORMANN, H. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. **Journal of Ecology**, 61: 495-508, 1973.

FERREIRA, S.J.F.; LUIZÃO, F.J.; MIRANDA, S.A.F.; SILVA, M.S.R.; VITAL, A.R.T.. Nutrientes na solução do solo em floresta de terra firme na Amazônia Central submetida à extração seletiva de madeira. **Acta Amazonica**, vol. 36(1), p. 59 – 68, 2006.

FIGUEIREDO, D.V. Chuva ácida – Setor de Controle da Poluição – SAP. Disponível em www.cetec.br/cetep/papers/chuva.html. Acessado em 11/06/2007.

JOHNSON, P.L.; SWANK, W.T. Studies of cation budgets in the southern Appalachians on four experimental watersheds with contrasting vegetation. **Journal of Ecology**, v. 54, n 1. p. 70 – 80. 1973.

KAUL, O.N. and BILLINGS, W.D. Cation content of stemflow in some forest trees in North Carolina. **The Indian Forester**, 91(6): 367-370, 1965.

LEAL, T.F.M.; FONTENELE, A,P,G.; PEDROTTI, J.J.. Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. **Quim. Nova**, v. 27, n. 6., 855 – 861. 2004.

LEWIS JR., W.M. Precipitation chemistry and nutrient loading by precipitation in a tropical watershed. **Water Resources Research**, 17(1): 169-181, 1981.

LIMA, W.P., BARBIN, D. Efeito de plantações de *Eucalyptus* e *Pinus* sobre a qualidade da água da chuva. **IPEF**, n. 11, p. 23-35, 1975.

LIMA, W. P. Alteração do pH, condutividade e das concentrações de Ca, Mg e P da água da chuva em floresta de *Pinus caribea* Morelet var. *caribea*. **IPEF**. São Paulo, n. 18, p. 37 – 54, 1979.

LIMA, W.P. Ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em cerradão. **IPEF**, n.30, p.13-17, 1985.

LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. São Paulo: EDUSP, 1996.

MALAVOLTA, E. **Elementos de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres Ltda. 1980.

MARENCO, R.A., LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas, nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

McCOLL, J.G. Properties of some natural water in a tropical wet forest of Costa Rica. **Bio-science**, n. 20, p. 1096-1100, 1970.

MOREIRA-NORDEMAN, L.M.; et al. Impactos ambientais na precipitação da costa brasileira. [2000].

MOREIRA-NORDEMANN, L.M.; FORTI, M.C.; ANDRADE, F.; ORSINI, C.M.Q. Anais do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. São Paulo, S.P., 1985. P. 419-424.

OLERIANO, E.S.; DIAS, H.C.T. A dinâmica da água em microbacias hidrográficas reflorestadas com eucalipto. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DA PARAÍBA DO SUL, 1., 2007, Taubaté: IPABHi, 2007. P. 215 – 222.

PEHL, C.E. and RAY, K.F. Atmospheric nutrient inputs to three forest types in east Texas. **Forest Ecology and Management**, 7:11-18, 1983/84.

PRITCHETT, W.L. **Properties and management of forest soils**. Estados Unidos, 1979. 500p.

RANZINI, M.; LIMA, W.P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. **Scientia Forestalis**, n.61, p. 144-159, 2002.

RODRIGUES, A.C.G.; MIRANDA, R.A.C.. Variação do pH e do conteúdo de nutrientes na chuva incidente e na precipitação interna. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 27(5): 771 – 776, 1992.

SANTOS. M.A.; ILLANES, C.F.; DAMASCENO, T.V.F.; FONTELE, A.P.G.; PEDROTTI, J.; FORNARO, A.. Determinação de compostos de nitrogênio em águas de chuva: NH_4^- , NO_2^- e NO_3^- . In: 29ª. Reunião da Sociedade Brasileira de Química. 2006.

SCHUMACHER, M.V.; TRUBY, P.; NAVROSKI, M.C. Adição de nutrientes pela água da chuva em uma Floresta Estacionária; Decidual em comparação com campo nativo em Itaara-RS, Brasil. **Relatório parcial de pesquisa**. (Dados não publicados) 2008.

SCHUMACHER, M.V.; TRUBY, P.; LOPES, V.G. Características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil. **Relatório parcial de pesquisa** (Dados não publicados). 2008.

SILVA FILHO, E.V. **Estudos da chuva acida e de entrada de Na, K, Ca, Mg e Cl na Bahia do Alto Rio Cachoeira, Parque Nacional da Tijuca, RJ**. Rio de Janeiro: UFF. 1985. 92p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal Fluminense, 1985.

SOUZA, V.V.; DIAS, C.T.; COSTA, A.A.; OLIVEIRA JÚNIOR, J.C.. Análise da qualidade da água das precipitações em aberto e efetiva em um fragmento secundário da Mata Atlântica, no município de Viçosa, MG. **Árvore**, v.31, n.4, p. 737-743, 2007.

WELLS, C.G; WHIGAM, D. and LIETH, H. Investigation of mineral nutrient cycling in a upland piedmont. forest. **The Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society**, 88(2): 66-78, 1972.

WOLAVER, T.G. The distribution of natural and anthropogenic elements and compounds in precipitation across the U.S.: theory and quantitative models. Masters Thesis. School of Public Health. University of North Carolina, Chapel Hill. 118 p. 1972.

6. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA SOLUÇÃO DO SOLO EM UM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DO RIO GRANDE DO SUL

Resumo

Este estudo teve por objetivo avaliar quimicamente a solução do solo, em duas diferentes profundidades (30 cm e 80 cm), em quatro diferentes tratamentos (T1 = eucalipto solteiro, em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo; T3 = Sistema Agroflorestal, contendo duas fileiras de eucalipto plantado com espaçamento 3 m x 2m e faixa de 10 m para plantio de espécie agrícola, de verão e de inverno; T4 = Sistema Agroflorestal, contendo três fileiras de eucalipto plantado com espaçamento 3 m x 2m e faixa de 10 m para plantio de espécie agrícola, de verão e de inverno). Para a coleta das amostras, foram utilizados lisímetros (8 em cada profundidade e em cada tratamento), acionados por bombas de vácuo (através de timers), a cada 4 horas, permanecendo ligados durante 10 minutos. As amostras de solução do solo foram coletadas a cada quinze dias e encaminhadas para análise de: pH, condutividade elétrica, sódio, potássio, cálcio, magnésio, fosfato, sulfato, cloreto, nitrito, nitrato e amônia. O comportamento da solução do solo, nas diferentes profundidades e diferentes tratamentos, apresenta-se bastante variável, considerando o tipo de cultura envolvida (eucalipto solteiro, campo nativo ou sistema agroflorestal).

Palavras-chave: solução do solo, sistema agroflorestal, características químicas.

Abstract

This study had as objective to chemically evaluate the soil solution, in different depths (30 cm and 80 cm), in four different treatments (T1 = eucalyptus planted in 3 m x 2 m spacing; T2 = native grass; T3 = Agroforestry system (SAF), with two lines of eucalyptus and a 10 m strip for crops; T4 = Agroforestry system (SAF), with three lines of eucalyptus and a 10 m strip for crops). For sampling collections, lisimeters were used (8 in each depth and in each treatment, totalizing 16 in each treatment), started with timers every four hours (for 10 minutes). The soil solution samples were collected every fifteen days and sent to the lab for the following analysis: pH, electrical conductivity, sodium, potassium, calcium, magnesium,

phosphorus, sulphate, chlorine, nitrite, nitrate and ammonium. The soil solution behavior, in different depths and different treatments, changes a lot, considering the kind of vegetation involved (eucalyptus, native grass or agroforestry system).

Key-words: soil solution, agroforestry system, chemical characteristics.

6.1 Introdução

Uma das críticas que se costuma fazer ao eucalipto é que ele precisa de muita água durante a fase de crescimento. Isto é desmentido por estudos recentes, que têm mostrado não haver muita diferença entre o consumo de água de diversas espécies florestais e o eucalipto. Isso também é verdade em comparação com a agricultura, pois o eucalipto apresenta consumo parecido com o do café e menor do que o da cana-de-açúcar. Em países com pouca disponibilidade de água, como Espanha, Itália, Israel e Marrocos, grandes áreas estão sendo usadas para o plantio de eucaliptos, sem problemas. No caso de Israel e Marrocos, grandes áreas estão sendo usadas para agricultura, depois do cultivo de eucalipto por períodos entre 20 e 30 anos (FIBRA, 2003).

De acordo com Dourojeami (2005), foi constatado e confirmado que, quando cultivado em condições extremas, especialmente com largos períodos de déficit hídrico no solo, algumas espécies são extraordinariamente bem sucedidas na captação de água, reduzindo a dotação dessa para outras plantas. Sabe-se, ainda, que outras espécies de eucalipto podem eliminar plantas competidoras por outros métodos. Essa capacidade faz com que o eucalipto, nessas condições de clima, não seja uma boa opção em pendentes ou outras situações onde existe a possibilidade de erosão dos solos. Porém, a única coisa que essas habilidades indicam é que o eucalipto é uma planta com boa capacidade de superar condições extremas do meio. Além disso, trata-se de uma planta muito resistente a pragas e enfermidades, de rápido crescimento e altamente produtiva.

Calder et al. (1992) e Lima (1992) afirmam que a quantidade necessária de água durante o ciclo da cultura de eucalipto é de 800 a 1200 mm, enquanto que para milho e feijão é de 400 a 800 mm e 300 a 600 mm, respectivamente.

Solução do solo é a água que ocupa partes dos espaços vazios existentes nos solos que contêm elementos químicos, muitos dos quais indispensáveis ao crescimento vegetal. Esses elementos são advindos das reações da água com os sólidos do solo, que são fortemente

influenciados por suas concentrações, tanto na água quanto no solo (BRANDÃO & LIMA, 2002).

A solução do solo representa o local predominante de ocorrência das reações químicas no solo e o meio natural de crescimento das plantas, além de abrigar as frações químicas dos elementos imediatamente disponíveis no ambiente (WOLT apud ZAMBROSI, 2004).

De acordo com Chaves et al. (1991), a disponibilidade dos íons para as raízes das plantas é controlada por várias reações, tais como: equilíbrio entre ácido e base, complexação iônica, precipitação e dissolução de sólidos, oxidação, redução e trocas iônicas. A cinética dessas reações e a taxa de absorção biológica controlam a concentração do íon na solução do solo.

Berton apud Zambrosi (2004) afirma que a solução aquosa contida no espaço poroso do solo é um sistema dinâmico aberto, cuja composição é uma consequência das inúmeras reações que podem ocorrer simultaneamente entre as três fases que constituem o solo (líquida, sólida e gasosa), as quais variam tanto com o tempo, quanto com o espaço. Um sistema tão complexo assim é de difícil reconstituição em qualquer experimentação de laboratório, mas, sendo assim, muitos estudos podem ser feitos com aplicação de princípios químicos.

A solução do solo interage com as fases sólida e gasosa, com plantas, microorganismos e fauna do solo. Observa-se que a solução do solo é o meio de onde as plantas absorvem os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento e crescimento e onde exsudam seus resíduos. Os íons na solução do solo podem ser adsorvidos a componentes orgânicos ou inorgânicos do solo e os íons adsorvidos podem ser liberados para a solução do solo (MEURER, 2004).

De acordo com Larcher (2001), a absorção, o transporte e a perda de água são os processos básicos do balanço hídrico, os quais, pelo menos a longo prazo, devem trabalhar em sintonia para manter um estado hídrico satisfatório. Como a entrada e saída da água contribuem para o balanço hídrico, em um determinado momento, pode ser avaliado por meio da comparação entre as quantidades de água absorvidas e transpiradas em um intervalo de tempo. O balanço hídrico torna-se negativo assim que o abastecimento de água não for capaz de cobrir os gastos com a demanda transpiracional. Nessa situação, a manutenção da taxa de absorção e o decréscimo da abertura estomática podem ser capazes de redirecionar o balanço hídrico para valores positivos após uma situação de transição.

Este estudo teve por objetivos determinar as características químicas da solução do solo em quatro diferentes tratamentos (eucalipto solteiro em espaçamento 3 m x 2 m (T1), campo nativo (T2), eucalipto em sistema agroflorestal 10 m x 2 m em linha dupla (T3) e

eucalipto em sistema agroflorestal 10 m x 2 m x 2m em linha tripla (T4) em duas diferentes profundidades (30 cm e 80 cm)

6.2 Material e Métodos

6.2.1 Instalação dos lisímetros para a coleta de solução do solo

Em setembro de 2005, a base de pesquisa foi instalada. Em cada tratamento (T1 = eucalipto solteiro plantado em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo; T3 = eucalipto em sistema agroflorestal plantado em linha dupla com cultura agrícola inverno/verão; T4 = eucalipto em sistema agroflorestal plantado em linha tripla com cultura agrícola inverno/verão) foram instalados 16 lisímetros, sendo, 8 lisímetros posicionados a 30 cm de profundidade e 8 posicionados a 80 cm em cada tratamento. As profundidades de instalação foram determinadas com base no comportamento das raízes do eucalipto e das culturas agrícolas e também pelo perfil do solo. A maioria das raízes se concentra até a profundidade de 30 cm e a 80 cm de profundidade, pode-se considerar que a solução do solo coletada nessa posição refere-se àquela que será liberada do sistema.

Os lisímetros são equipamentos dotados de uma ponteira de cerâmica, que têm por função principal succionar e filtrar a solução do solo nas profundidades indicadas (Figura 6.1 a e b).



Figura 6.1 – a) Lisímetro posicionado a 30 cm de profundidade; b) Lisímetro posicionado a 80 cm de profundidade.

Para a colocação dos lisímetros na posição de 30 e 80 cm, foi utilizado um trado de perfil para a abertura dos orifícios e posicionamento dos mesmos (Figura 6.2).



Figura 6.2 – Abertura dos orifícios para a colocação dos lisímetros.

Primeiramente, foram abertas valetas, nas quais foram passados tubos de PVC de 75 mm. Dentro desses tubos, foram passadas mangueiras transparentes de 3/8 de polegada de diâmetro com um capilar no interior de cada uma, totalizando 16 mangueiras com 16 capilares (Figuras 6.3, 6.4 e 6.5).



Figura 6.3 – Abertura das valas para colocação dos canos de PVC.



Figura 6.4 – Canos de PVC posicionados nas valas.



Figura 6.5 – Aspecto da mangueira com capilar no interior do tubo de PVC.

Cada lisímetro possui um capilar plástico que é conectado a uma garrafa coletora, que é conectada a uma microbomba de vácuo, que através de um timer, é acionada a cada 4 horas, por um período de 10 minutos, a fim de coletar a solução do solo das duas diferentes profundidades.

As garrafas coletoras (no total de quatro em cada tratamento) estão armazenadas em uma caixa plástica de 250 l, juntamente com as 4 microbombas de vácuo e o timer (Figura 6.6).

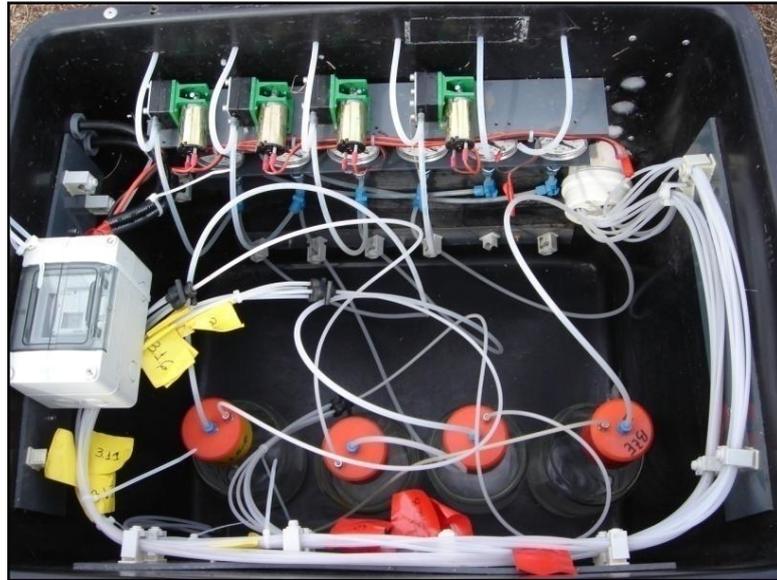


Figura 6.6 – Caixa contendo garrafas coletoras de solução do solo, microbombas de vácuo e timer.

6.2.2 Coleta das amostras

As coletas da solução do solo, armazenadas nas garrafas coletoras são realizadas quinzenalmente (Figura 6.7). As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Ecologia Florestal (LABEFLO) da Universidade Federal de Santa Maria, onde são determinados os teores de: Nitrito, Nitrato, Amônia, Sulfato, Fosfato, Cloreto, Magnésio, Potássio e Sódio, bem como o pH e a condutividade elétrica da solução.

As amostras de água da chuva coletadas no campo, após serem encaminhadas ao laboratório foram analisadas segundo a metodologia “Standard methods for the examination of water and wastewater” (1998), onde como pré-tratamento passaram por filtração simples (poros de 15 μm) e posteriormente os ânions foram analisados por cromatografia iônica, cálcio e magnésio por espectrometria de absorção atômica, potássio e sódio por fotometria de chama, pH com pHmetro contendo eletrodo de vidro e condutividade elétrica com condutivímetro contendo célula de condutividade.



Figura 6.7 – Coleta de amostras da solução do solo armazenada nos coletores.

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 O pH da solução do solo

De acordo com a Tabela 6.1 abaixo, é possível verificar que em ambas as profundidades (30 cm e 80 cm) e em todos os tratamentos (T1 = eucalipto solteiro em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo; T3 = eucalipto em SAF em linha dupla e T4 = eucalipto em SAF em linha tripla) o pH da solução do solo aumentou com o aumento da profundidade, na maioria das vezes. Na profundidade de 30 cm, o menor valor de pH médio foi detectado no T3, seguido por T1, T4 e T2. Na profundidade de 80 cm, o menor valor detectado foi no T2 seguido por T3, T1 e T4. Na profundidade de 30 cm, o maior valor médio de pH foi determinado no T4 seguido por T2, T1 e T3. Em 80 cm de profundidade, a solução do solo apresentou maior valor de pH no T4, seguido de T1, T2 e T3.

Tabela 6.1 – Variação do pH da solução do solo nas duas diferentes profundidades analisadas e nos quatro diferentes tratamentos.

Mês	Prof.	Tratamento*			
		T1	T2	T3	T4
set/06	30 cm	7,07	8,57	6,47	7,21
	80 cm	7,77	8,22	7,70	7,83
out/06	30 cm	7,64	7,89	6,93	7,41
	80 cm	7,83	7,64	7,76	8,33
nov/06	30 cm	-*	8,04	3,50	6,94
	80 cm	7,86	7,37	7,99	7,99
dez/06	30 cm	-	3,71	2,93	7,37
	80 cm	7,89	7,05	7,90	7,98
jan/07	30 cm	-	7,98	6,47	7,23
	80 cm	7,63	7,17	7,38	7,56
fev/07	30 cm	-	7,65	5,3	7,32
	80 cm	7,37	7,00	7,24	7,61
mar/07	30 cm	6,88	7,29	5,65	7,195
	80 cm	7,49	7,35	7,77	7,93
abr/07	30 cm	3,61	8,03	6,88	8,32
	80 cm	8,44	8,49	8,13	8,58
mai/07	30 cm	4,29	7,65	7,30	7,56
	80 cm	7,53	7,67	6,99	7,79
jun/07	30 cm	6,91	7,83	6,86	7,77
	80 cm	7,79	7,84	7,85	7,94
jul/07	30 cm	6,42	7,49	6,59	7,64
	80 cm	7,41	7,50	7,71	7,55
ago/07	30 cm	7,21	8,05	7,17	8,05
	80 cm	8,15	7,84	8,15	8,25

*Não houve amostra suficiente de solução do solo para ser realizada a medição do pH.

* (T1 = eucalipto solteiro em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo; T3 = eucalipto em SAF em linha dupla e T4 = eucalipto em SAF em linha tripla)

Miranda et al. (2006), em estudo sobre a composição química da solução do solo sob diferentes coberturas vegetais, constataram que a solução do solo sob cafeeiro foi mais ácida que as demais soluções de solo sob outras coberturas vegetais, sendo esse efeito mais acentuado em profundidade

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como pH médio da solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor de 6,50 em amostras a 30 cm de

profundidade e 6,40 em amostras a 60 cm de profundidade.

6.3.2 Condutividade elétrica da solução do solo

A condutividade elétrica apresentou-se bastante variável nas diferentes profundidades e diferentes tratamentos.

Nas Figuras 6.8 e 6.9, é possível perceber a variação da condutividade elétrica na solução do solo nas duas diferentes profundidades e nos quatro diferentes tratamentos.

Na solução do solo a 30 cm de profundidade, o menor valor de condutividade elétrica foi medido no T2 ($4,88 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguido de T1 ($69,2 \mu\text{S cm}^{-1}$); T3 ($83,8 \mu\text{S cm}^{-1}$) e T4 ($173,2 \mu\text{S cm}^{-1}$). Na profundidade de 80 cm, o menor valor foi no T1 ($4,88 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguido por T2 ($127,45 \mu\text{S cm}^{-1}$), T4 ($158,55 \mu\text{S cm}^{-1}$) e T3 ($224,3 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Os maiores valores de condutividade elétrica na profundidade de 30 cm foram determinados no T2 ($567,5 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguido de T3 ($550,0 \mu\text{S cm}^{-1}$), T4 ($490,0 \mu\text{S cm}^{-1}$) e T1 ($459,0 \mu\text{S cm}^{-1}$). Em 80 cm de profundidade, o maior valor foi alcançado em T3 ($642,5 \mu\text{S cm}^{-1}$), seguido de T1 ($499,0 \mu\text{S cm}^{-1}$), T2 ($413,5 \mu\text{S cm}^{-1}$) e T4 ($406,5 \mu\text{S cm}^{-1}$).

Em todas as coletas realizadas, no período de 12 meses, é possível perceber que à medida que aumenta a profundidade do solo, aumenta a condutividade elétrica da solução do solo. Deve-se considerar que quanto maior a condutividade elétrica, maior é a presença de íons na solução, ou seja, maior capacidade de condução de corrente elétrica.

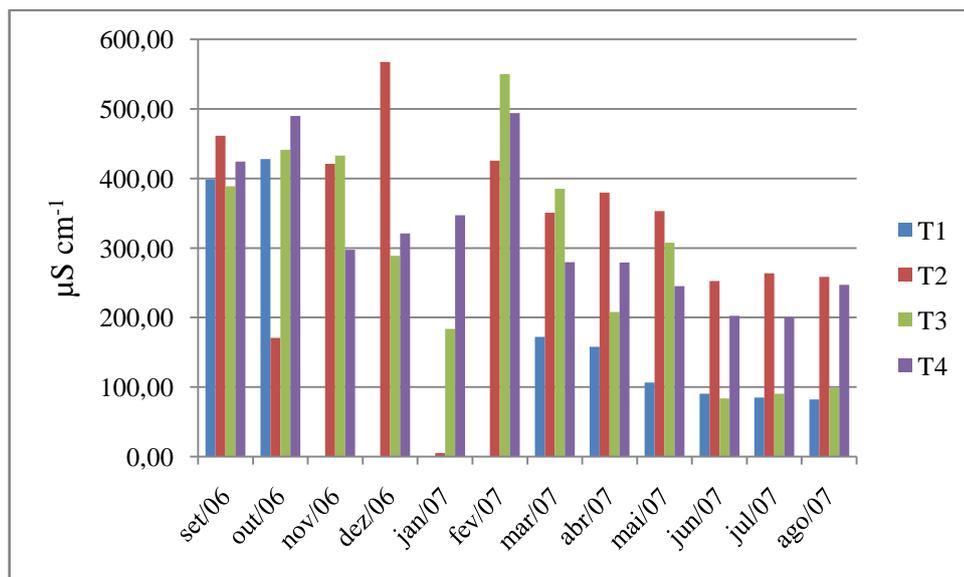


Figura 6.8 – Condutividade elétrica da solução do solo a 30 cm de profundidade, nos quatro tratamentos avaliados.

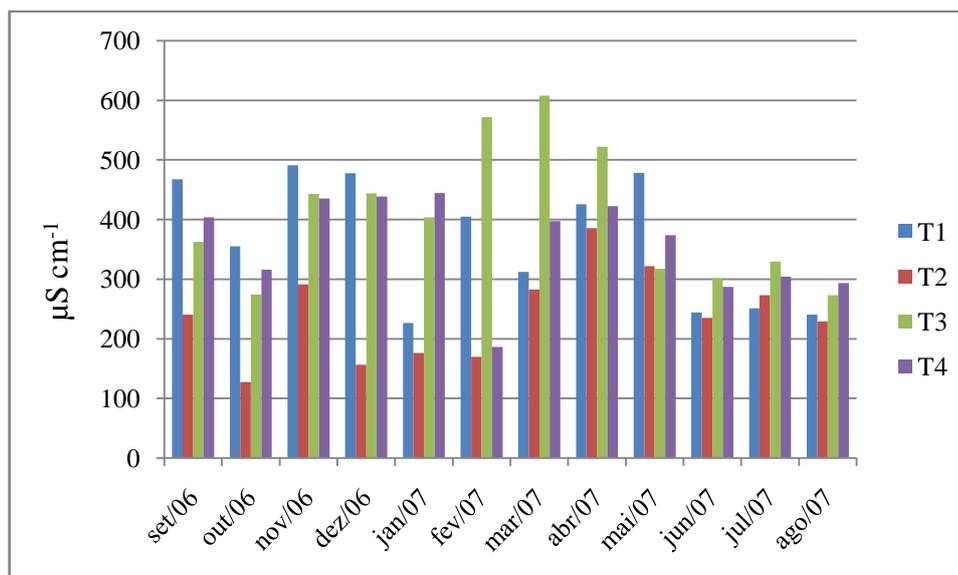


Figura 6.9 – Condutividade elétrica da solução do solo a 80 cm de profundidade, nos 4 tratamentos avaliados.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como condutividade elétrica média da solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor de 44,68 em amostras a 30 cm de profundidade e 29,01 em amostras a 60 cm de profundidade.

Miranda et al. (2006) encontraram os seguintes resultados: o solo sob pastagem apresentou menor valor de condutividade elétrica, enquanto o solo sob cafeeiro, com adição de fertilizantes químicos exibiu os maiores valores. Na camada superficial, verificou-se que o solo sob mata natural apresentou valores de condutividade elétrica superiores aos do solo sob pastagem, indicando ser esse um ecossistema mais conservador de nutrientes.

Os mesmos autores supracitados, afirmam que no solo sob cafeeiro, foi possível verificar o efeito da lixiviação de nutrientes após a adubação mineral. Os valores de condutividade elétrica aumentaram em profundidade, evidenciando a movimentação de elementos químicos. A ausência de picos acentuados de elevação de condutividade elétrica em profundidade no solo sem cobertura vegetal com adubação mineral pode ser devida à periodicidade da amostragem. A extração mensal da solução de solo não foi suficiente para detectar a lixiviação de nutrientes em área descoberta, que deve ter sido intensa, considerando-se, ainda, que a precipitação pluviométrica no período foi elevada.

6.3.3 Sódio na solução do solo

Nas Figuras 6.10 e 6.11, a seguir, é possível visualizar o diferente comportamento nos teores de sódio na solução do solo, a 30 cm e a 80 cm de profundidade.

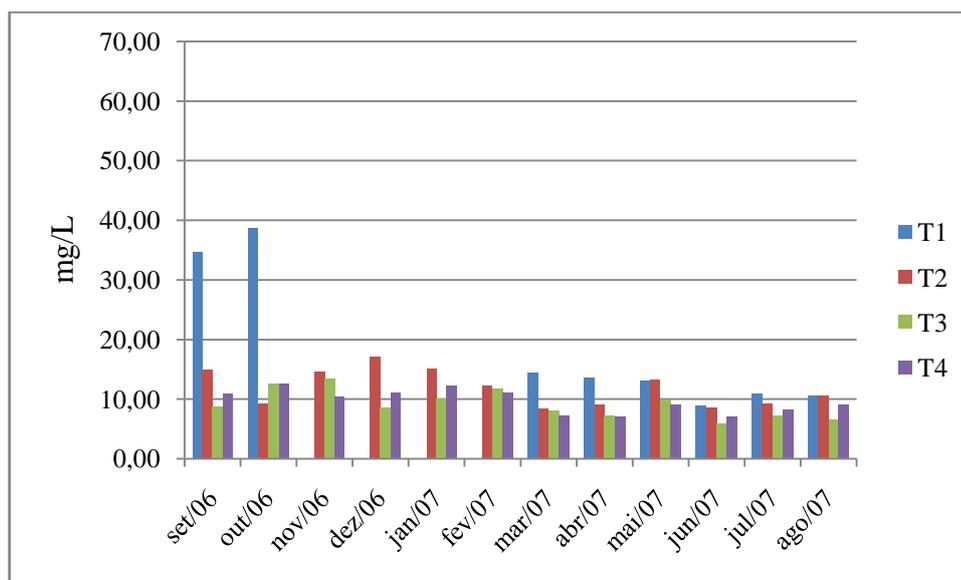


Figura 6.10 – Concentrações de sódio na solução do solo a 30 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos analisados.

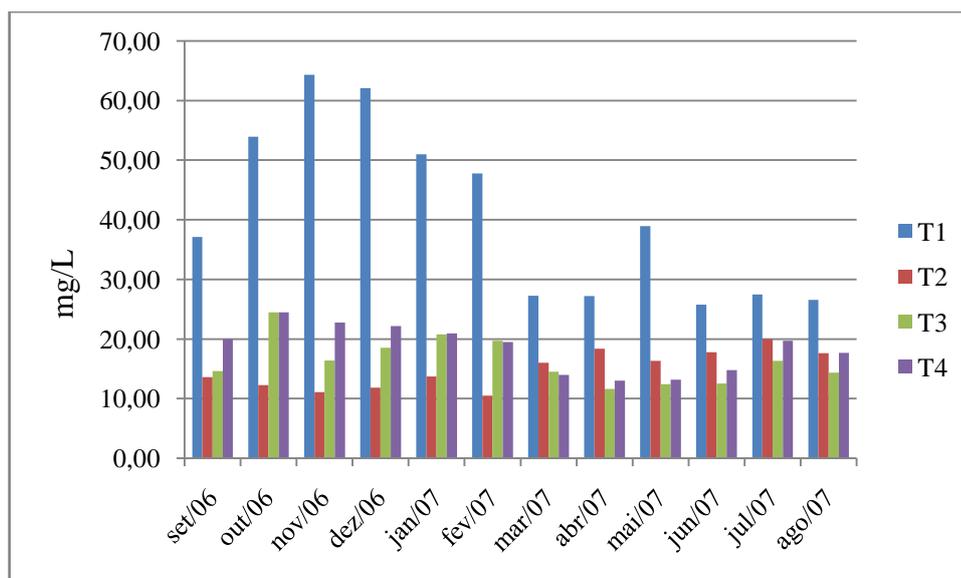


Figura 6.11 – Concentrações de sódio na solução do solo a 80 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos avaliados.

Miranda et al. (2006), em estudo da composição química da solução do solo sob diferentes coberturas vegetais, verificaram que os teores de sódio na solução do solo não aumentaram na camada superficial (0 – 20 cm) com a adubação mineral do solo com NPK (20-5-20). Aumentos na concentração de sódio em solução foram verificados em todas as coberturas vegetais e em todas as camadas estudadas a partir do nono mês, com a intensidade das chuvas. Tal fato indicou uma inter-relação com a decomposição da matéria orgânica, já que entradas de sódio via precipitação, se existentes, são pequenas em virtude da ausência de poluição atmosférica. A elevação de sódio em profundidade indica também ocorrência de translocação do elemento.

Andrade et al. (2004) afirmam que a salinidade, assim como outras propriedades químicas e físicas do solo, apresenta uma variabilidade espacial e temporal natural em função das práticas de manejo utilizadas, da profundidade do lençol freático, da permeabilidade do solo, das taxas de evapotranspiração, das chuvas, da salinidade das águas e de outros tantos fatores hidrogeológicos.

Os mesmo autores supracitados, em estudo realizado na Chapada do Apodi afirmam que a variação temporal da concentração de sódio no extrato de saturação do solo; apresentou, de forma geral, um comportamento bastante variável durante o período estudado. As maiores concentrações não foram encontradas na primeira camada e foram registradas nos meses de novembro e dezembro ($21,99 \text{ mmol L}^{-1}$ e $12,28 \text{ mmol L}^{-1}$, respectivamente). Tal comportamento está associado à ausência de chuvas neste período, o que ocasiona normalmente, um aumento na concentração de sais em resposta à qualidade da água e ao processo de evapotranspiração. Para a camada de 30-60, as maiores concentrações do íon sódio, foram registradas após o mês de maio. Tais valores são indicativos da lixiviação dos sais pela ação da chuva. As maiores concentrações do íon sódio para a estação seca ocorrem na camada superior, em decorrência da perda de água por evaporação. Já no período chuvoso, maiores concentrações do referido elemento são registrados nas camadas mais profundas, expressando mais uma vez a ação da chuva na lixiviação.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como concentração média de sódio na solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor de $2,87 \text{ mg/L}$ em amostras a 30 cm de profundidade e $2,46 \text{ mg/L}$ em amostras a 60 cm de profundidade.

6.3.4 Potássio na solução do solo

De acordo com Grassi Filho (2007), o potássio é o mais solúvel dos nutrientes minerais e encontra-se no apoplasto e nos tecidos na forma iônica, sendo que até 80% pode ser retirado por lavagem através da chuva. Quando da interação do potássio com o nitrogênio, normalmente a presença de nitrogênio aumenta a absorção de potássio, resultando em aumento de produção, diminuição do acamamento, aumento do teor de proteínas e de aminoácidos solúveis. Na interação com o magnésio, a elevação do potássio na adubação diminui o teor de magnésio na planta e vice-versa. Na interação com o cálcio, a elevação do potássio na adubação diminui o teor de cálcio na planta. A elevação do cálcio na solução do solo diminui a absorção do potássio na solução e leva a uma diminuição na absorção do cálcio e do magnésio. Na interação do potássio com o zinco, a adubação com zinco leva a uma diminuição no teor de potássio na planta, e deficiência de zinco eleva os teores de cálcio, magnésio e potássio. Quando o potássio interage com o sódio, além da competição pelo mesmo sítio ativo de absorção, o sódio inibe o sistema enzimático ativado pelo potássio, quando este já se encontra dentro da planta. A presença de alumínio no solo desloca o potássio do colóide, resultando em uma maior lixiviação do potássio no perfil do solo. Concentrações mais elevadas de alumínio na solução do solo causam uma inibição na absorção de K, Ca, Mg e Zn, entretanto, concentrações reduzidas de alumínio na solução do solo elevam a absorção de K, com conseqüente diminuição da absorção de Ca, Mg e Zn.

Nas Figuras 6.12, 6.13, 6.14 e 6.15, é possível verificar a variação na concentração de potássio na solução do solo nas diferentes profundidades e diferentes tratamentos avaliados.

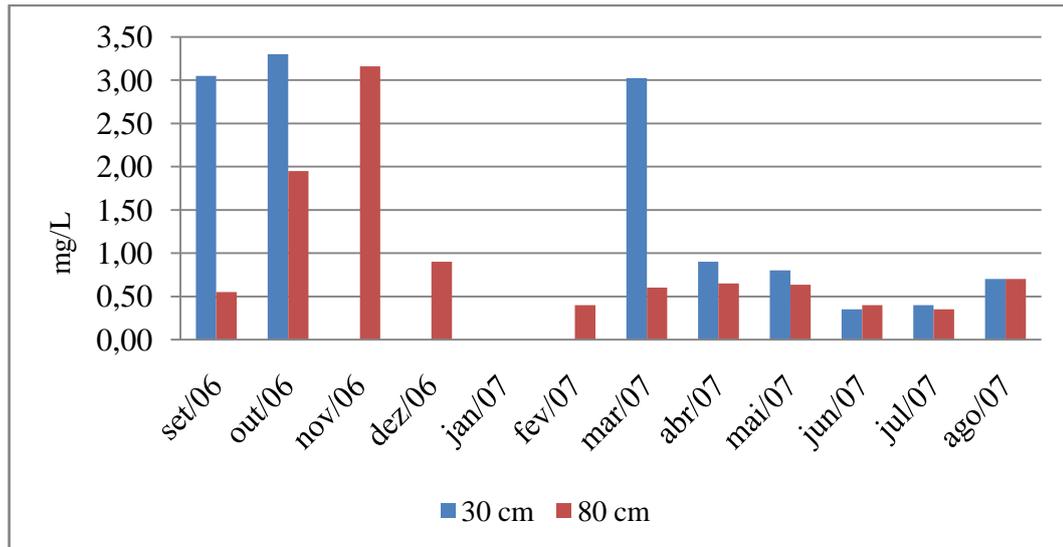


Figura 6.12 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo no Tratamento 1 (eucalypto solteiro em espaçamento 3 m x 2 m).

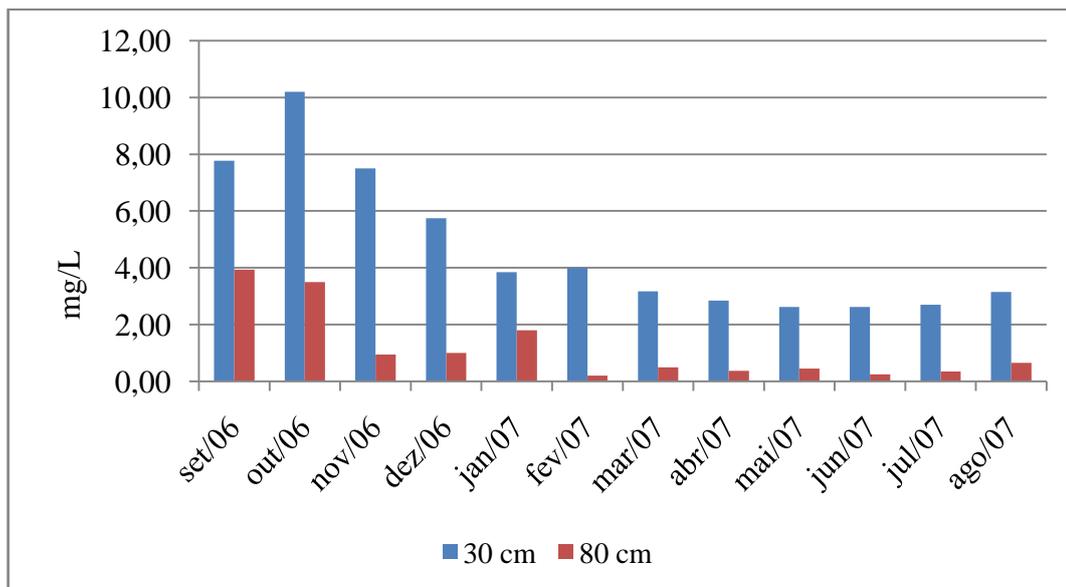


Figura 6.13 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo, em duas diferentes profundidades no Tratamento 2 (campo nativo).

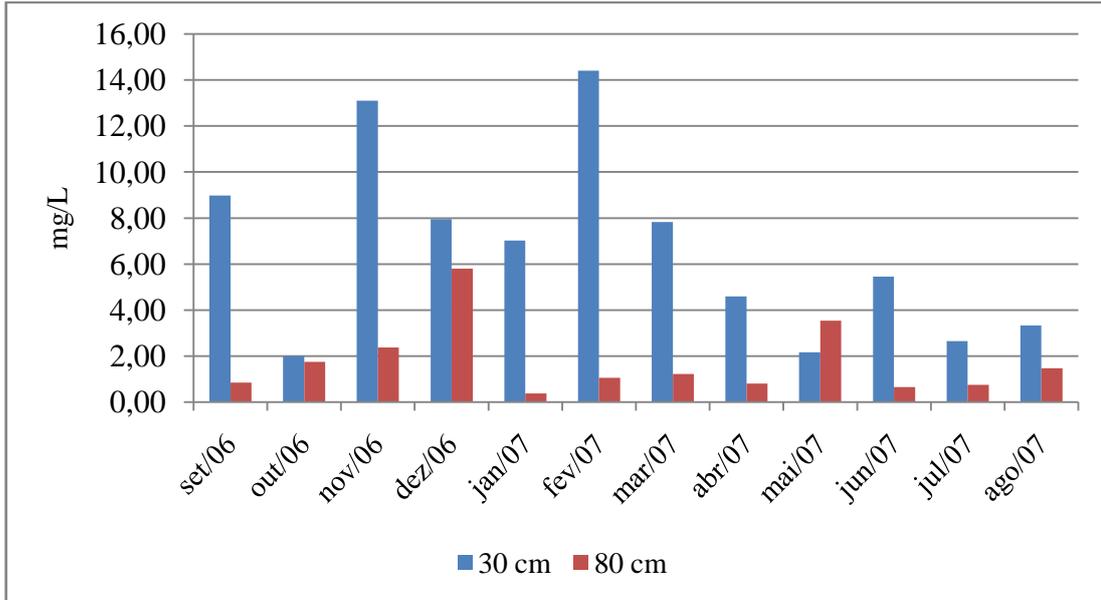


Figura 6.14 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo, em duas diferentes profundidades no Tratamento 3 (Sistema agroflorestal com eucalipto plantado em duas linhas).

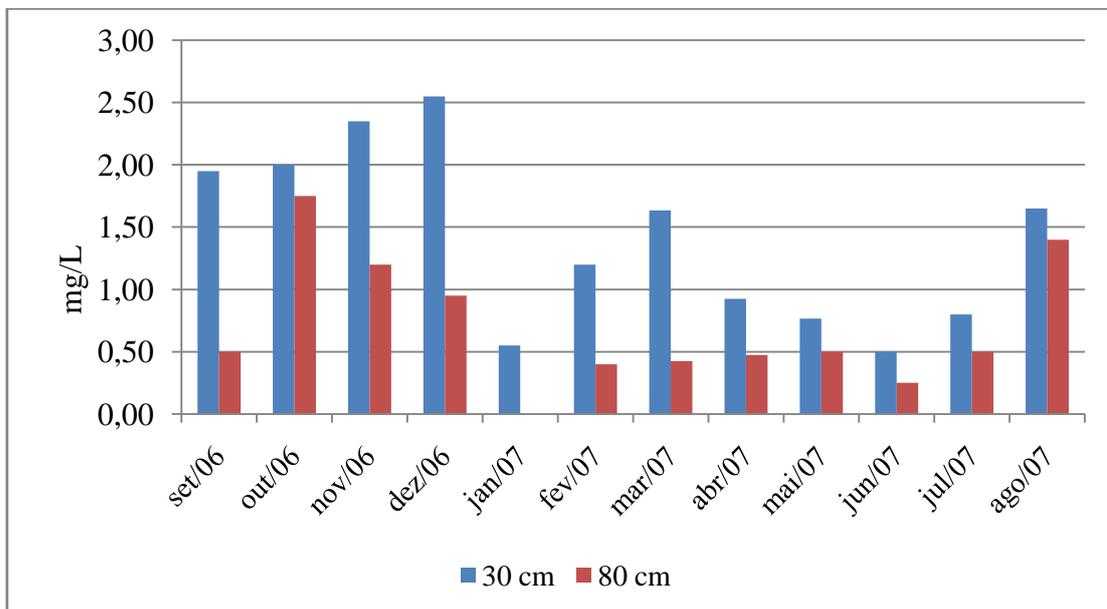


Figura 6.15 – Variação na concentração de potássio (mg/L) na solução do solo, em duas diferentes profundidades no Tratamento 4 (Sistema agroflorestal com eucalipto plantado em t linhas).

Na área estudada, o potássio (K) apresentou maiores concentrações na profundidade de 80 cm. Isso explica-se pelo fato de este ser um elemento altamente móvel, o que facilita a

lixiviação. Na profundidade de 30 cm, os teores variaram da seguinte maneira: T1 de 0,0 mg/L a 4,3 mg/L; T2 de 1,35 mg/L a 10,2 mg/L; T3 de 1,0 mg/L a 13,1 mg/L e T4 de 0,2 mg/L a 2,75 mg/L. Na solução do solo a 80 cm de profundidade, o comportamento dos teores de potássio variou da seguinte maneira entre os tratamentos: T1 de 0,0 mg/L a 5,52 mg/L; T2 de 0,0 mg/L a 3,94 mg/L; T3 de 0,2 mg/L a 10,4 mg/L. Em ambas as profundidades, pode-se verificar que em coletas próximas a períodos com grandes precipitações, a variação de teores de potássio na profundidade é bastante acentuada.

O potássio na solução do solo apresentou comportamento semelhante ao do solo, ou seja, a adubação com a fórmula 20-5-20 aumentou os teores de potássio na solução do solo, principalmente no solo sob cafeeiro. Em geral, as curvas de potássio em solução seguiram as mesmas tendências observadas para o cálcio e para o magnésio, embora se percebesse certo desbalanço, já que seus teores eram maiores do que os de Mg^{2+} e bem próximos aos de Ca^{2+} em solução. A lixiviação do potássio no solo sem cobertura vegetal foi intensa, e, tal como ocorreu com o cálcio e magnésio, a amostragem mensal foi também insuficiente para detectar a variação na concentração de potássio advinda do processo de lixiviação, principalmente nas camadas de 20-40 e 40-100 cm de profundidade (Miranda et al., 2006).

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como concentração média de potássio na solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor de 0,39 mg/L em amostras a 30 cm de profundidade e 0,41 mg/L em amostras a 60 cm de profundidade.

6.3.5 Cálcio na solução do solo

Na Tabela 6.2 é possível confrontar o diferente comportamento dos teores de cálcio (Ca) na solução do solo, nos 4 diferentes tratamentos, na área estudada.

O comportamento das concentrações de cálcio na solução do solo a 30 cm e a 80 cm de profundidade foi semelhante. Variando de teores muito baixos (valores menores que 2,0 mg/L) a muito altos (86,66 mg/L).

Na profundidade de 30 cm, no T1 especificamente, o comportamento dos teores teve uma característica peculiar, variando de 55,46 mg/L no início das coletas e diminuindo acentuadamente com o passar do tempo (12 meses).

Tabela 6.2 Comportamento das concentrações (mg/L) de cálcio na solução do solo, a 30 cm e 80 cm de profundidade, nos quatros diferentes tratamentos estudados.

Mês	Prof.	Tratamento			
		T1	T2	T3	T4
set/06	30 cm	48,57	26,80	45,23	30,53
	80 cm	24,14	18,70	39,44	18,23
out/06	30 cm	32,95	10,80	13,36	13,36
	80 cm	21,04	4,19	6,48	6,48
nov/06	30 cm	0,00	36,46	33,78	24,72
	80 cm	23,88	8,75	34,61	30,37
dez/06	30 cm	0,00	84,27	26,08	24,53
	80 cm	36,30	16,34	46,81	52,05
jan/07	30 cm	0,00	72,81	29,49	41,93
	80 cm	37,76	20,62	57,96	56,20
fev/07	30 cm	0,00	1,58	2,55	2,41
	80 cm	1,05	0,85	2,45	1,58
mar/07	30 cm	6,46	22,68	14,87	13,19
	80 cm	13,57	17,19	26,70	25,10
abr/07	30 cm	6,19	28,08	11,54	15,43
	80 cm	20,87	26,71	28,12	28,83
mai/07	30 cm	5,33	35,66	17,15	23,89
	80 cm	35,48	32,76	25,57	35,66
jun/07	30 cm	4,95	24,14	4,18	22,42
	80 cm	15,35	21,78	27,64	23,95
jul/07	30 cm	3,11	17,78	4,86	18,95
	80 cm	12,68	22,07	27,20	22,23
ago/07	30 cm	2,79	43,21	4,41	27,76
	80 cm	17,56	32,59	39,07	35,19

*Não houve amostra suficiente de solução do solo para ser realizada a medição do pH.

* (T1 = eucalipto solteiro em espaçamento 3 m x 2 m; T2 = campo nativo; T3 = eucalipto em SAF em linha dupla e T4 = eucalipto em SAF em linha tripla)

A necessidade de cálcio para as plantas pode ser facilmente demonstrada através da interrupção do suprimento de cálcio para as raízes. A taxa de crescimento é imediatamente reduzida e, após alguns dias, as pontas das raízes tornam-se marrons e gradualmente morrem. O cálcio é requerido para a alongação e divisão celular, mas detalhadas reações, nas quais o cálcio está envolvido, não são ainda conhecidas.

Miranda et al. (2006) verificaram que a adubação com NPK (20-5-20) no Latossolo Vermelho-Amarelo sem cobertura vegetal elevou, abruptamente, os teores de cálcio em

solução, principalmente na camada superficial. O aumento foi verificado somente nas camadas subsuperficiais; verificou-se também elevação acentuada da concentração de Ca^{2+} em solução, quase que simultaneamente à diminuição de cálcio na camada superficial, detectou-se pequeno aumento na camada intermediária e, posteriormente, na camada de 40-100 cm. Esse fato indicou que o Ca^{2+} foi deslocado dos sítios de troca e movimentou-se ao longo do perfil.

Andrade et al. (2004) encontraram valores de concentrações médias de $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, variando entre 5,0 a 33,60 mmol L^{-1} , na primeira camada; 3,27 a 24,30 mmol L^{-1} , na segunda camada e 4,90 a 17,80 mmol L^{-1} , na terceira camada. Na camada superficial, observa-se um decréscimo da concentração dos íons $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ durante a estação chuvosa da região.

Schumacher et al. (2008) em estudo realizado em Itaara, RS evidenciaram o mesmo comportamento para a concentração de Ca na solução do solo, ou seja, a medida que aumenta a profundidade, diminui a concentração (4,97 mg/L em 30 cm de profundidade e 1,62 mg/L a 60 cm de profundidade).

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como concentração média de cálcio na solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor de 3,37 mg/L em amostras a 30 cm de profundidade e 1,64 mg/L em amostras a 60 cm de profundidade.

6.3.6 Magnésio na solução do solo

Em ambas as profundidades e nos diferentes tratamentos estudados, os teores de magnésio (Mg) seguiram a mesma distribuição, ou seja, à medida que aumentava ou diminuía em um tratamento, o mesmo acontecia nos outros na mesma proporção. A exceção ocorreu no T3, a 80 cm de profundidade, por ocasião da coleta realizada em 29/12/2007, na qual, o teor analisado na solução do solo foi de 24,22 mg/L, sendo muito superior aos demais encontrados nas outras análises realizadas no decorrer do estudo (Figuras 6.16 e 6.17).

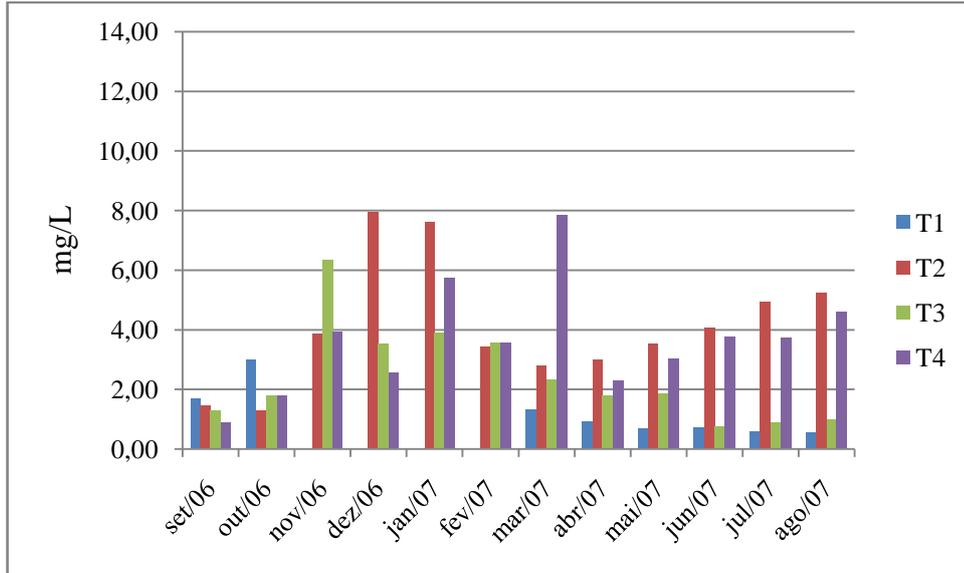


Figura 6.16 – Concentrações de magnésio na solução do solo a 30 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos estudados.

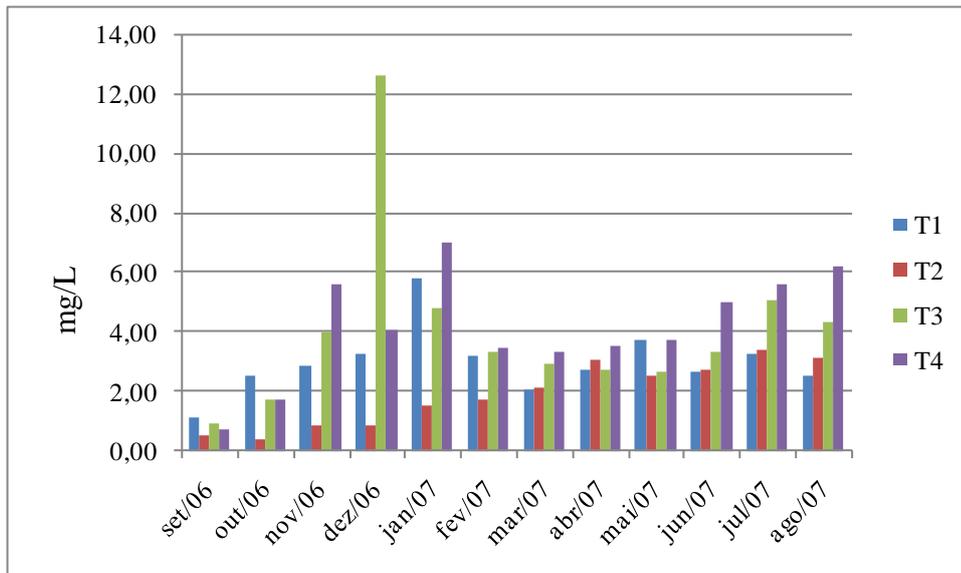


Figura 6.17 – Concentrações de magnésio na solução do solo a 80 cm de profundidade, nos quatro diferentes tratamentos estudados.

De acordo com Miranda et al. (2006), em estudo da composição química da solução do solo sob diferentes coberturas vegetais, as curvas de magnésio na solução do solo em todos os tratamentos apresentaram comportamento, ao longo do período estudado, semelhante ao das curvas de cálcio. No início do período chuvoso, houve elevação do teor de magnésio na solução de solo, principalmente na camada superficial. Verificou-se que a aplicação do

fertilizante NPK (20-5-20), a partir de outubro de 1996, aumentou os teores de magnésio na solução, na camada superficial. A ausência de picos acentuados na concentração de Mg^{2+} , nas camadas mais profundas, indicou que a lixiviação foi intensa nesse solo, tendo sido a extração mensal insuficiente para detectá-la.

Schumacher et al (2008), em estudo da solução do solo em diferentes profundidades, caracterizou um alto decréscimo na concentração de magnésio com o aumento da profundidade, sendo este decréscimo na casa de 75% do valor.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como concentração média de magnésio na solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor de 0,31 mg/L em amostras a 30 cm de profundidade e 0,23 mg/L em amostras a 60 cm de profundidade.

6.3.7 Nitrogênio na solução do solo

Nas Figuras 6.18 e 6.19, a seguir, estão demonstradas graficamente, o comportamento da concentração de nitrogênio nas diferentes profundidades e diferentes tratamentos bem como nas diferentes formas analisadas na solução do solo, ou seja, nitrato, nitrito e amônia. Para melhor demonstração dos resultados, foi organizado as concentrações como nitrogênio total nas amostras de solução do solo.

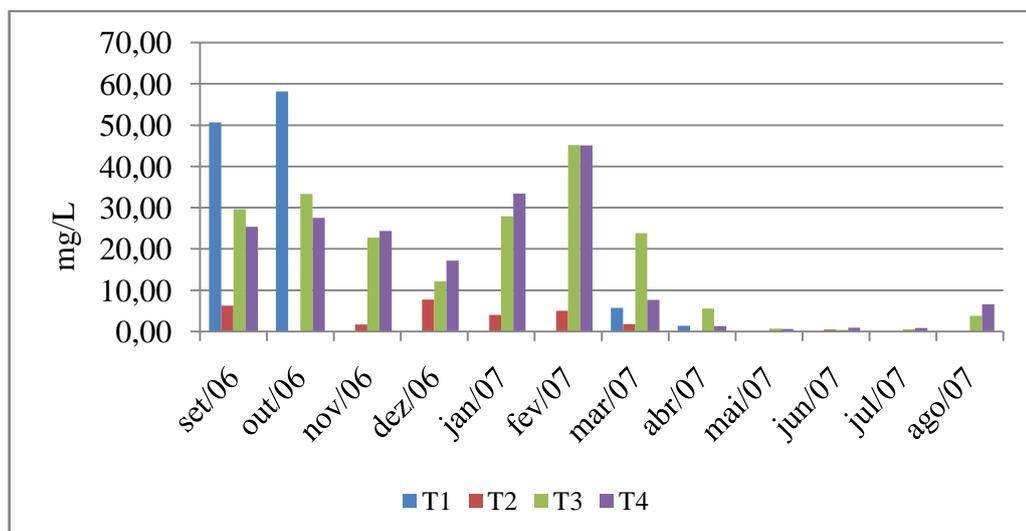


Figura 6.18 – Nitrogênio total nas amostras de solução do solo nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3 e T4) a 30 cm de profundidade.

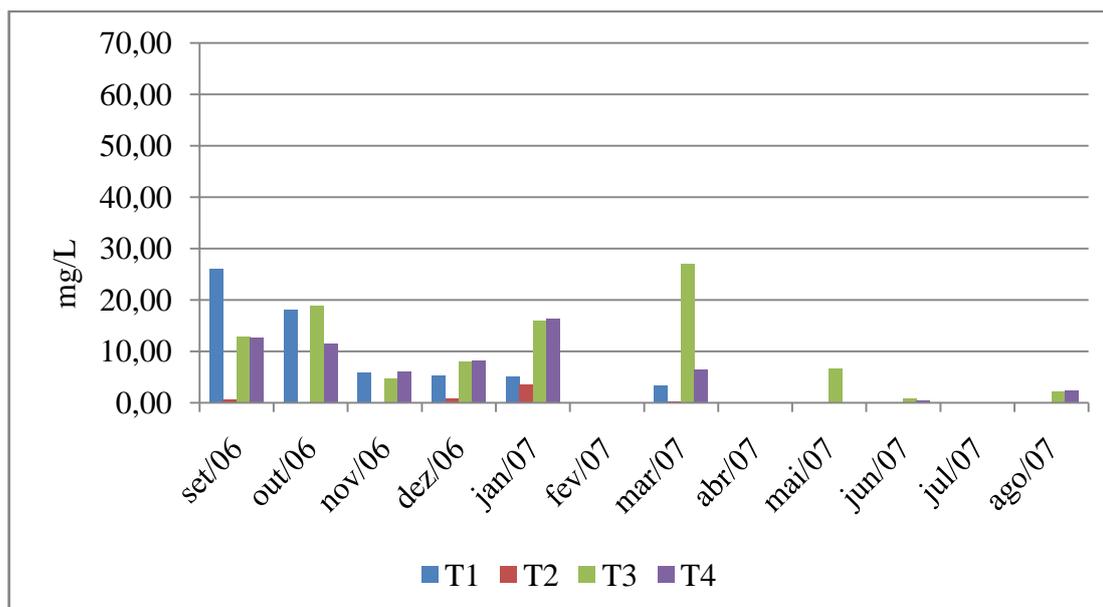


Figura 6.19 – Nitrogênio total nas amostras de solução do solo nos diferentes tratamentos (T1, T2, T3 e T4) a 80 cm de profundidade.

Estudo realizado por outros pesquisadores, afirmam que o adubo NPK (20-5-20), adicionado aos solos sem cobertura vegetal e sob cafeeiro, aumentou o teor de N na solução do solo. O efeito foi mais pronunciado em solos sem cobertura vegetal, na camada de 0-20 cm de profundidade. Posteriormente, com a diminuição do teor de N na camada superficial, verificaram-se pequenos acréscimos nas camadas de 20-40 e de 40-100 cm de profundidade.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como concentração média de amônia na solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor de 0,21 mg/L de N em amostras a 30 cm de profundidade e 0,11 mg/L de N em amostras a 60 cm de profundidade.

6.3.8 Enxofre na solução do solo

Nas Figuras 6.20 e 6.21, é possível visualizar a concentração de enxofre na solução do solo, nos quatro diferentes tratamentos analisados e em duas diferentes profundidades.

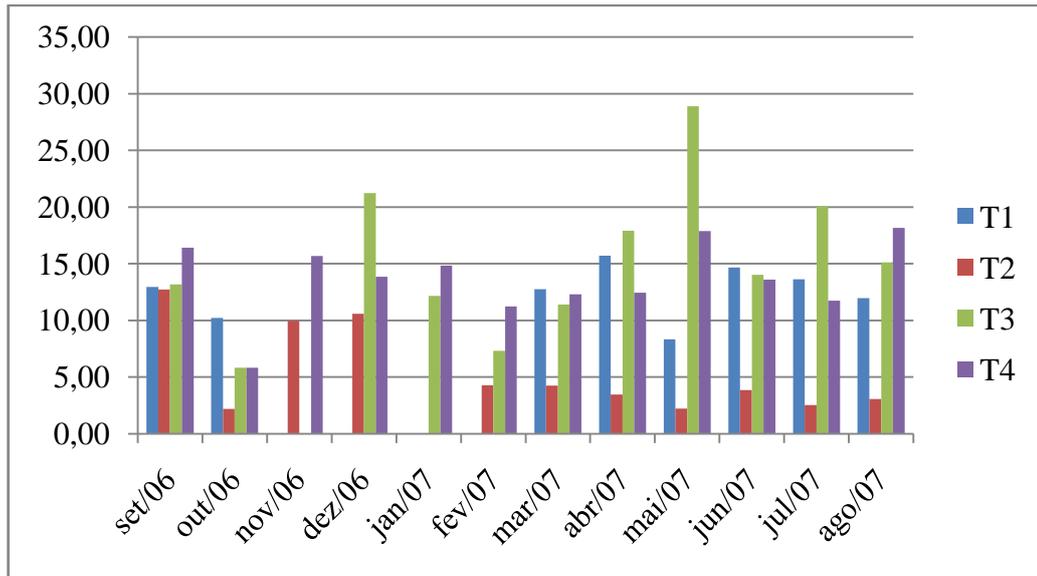


Figura 6.20 – Concentrações médias de enxofre na solução do solo coletada a 30 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos estudados.

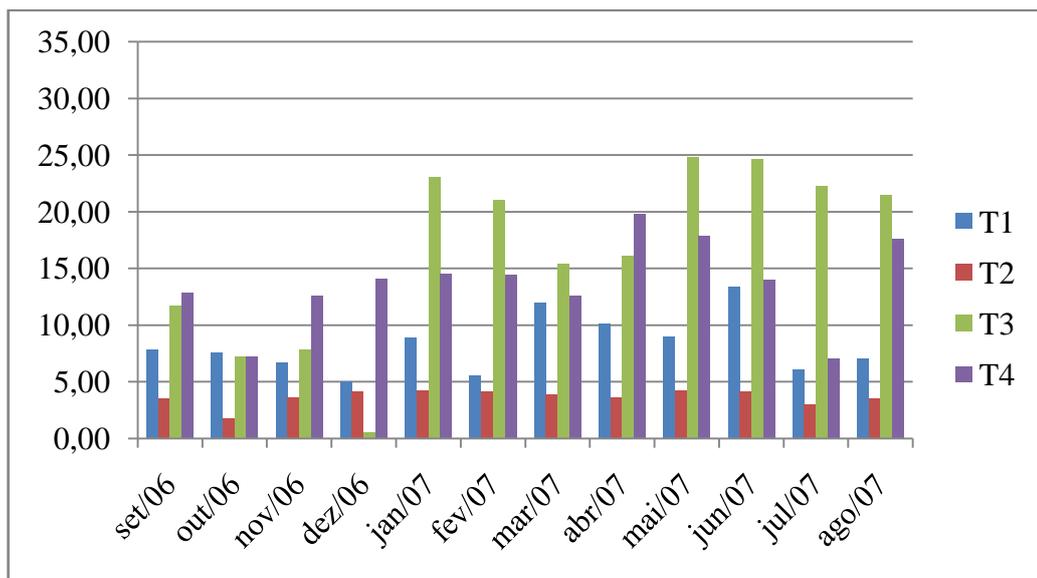


Figura 6.21 – Concentrações médias de enxofre na solução do solo coletada a 80 cm de profundidade, nos diferentes tratamentos estudados.

Schumacher et al. (2008), em estudo realizado sobre as características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil, encontraram como concentração média de enxofre na solução do solo, em área de campo, adjacente a plantio de Pinus, o valor 0,88 mg/L a 30 cm de profundidade e 0,71 mg/L a 60 cm de profundidade.

6.3.9 Fósforo na solução do solo

O fósforo, analisado na forma de fosfato, não foi detectado em concentração significativa em nenhum dos tratamentos analisados, bem como nas duas diferentes profundidades.

6.4 Conclusões

É importante analisar as características químicas da solução do solo, pois a mesma reflete os processos biológicos e químicos ocorridos durante o transporte ou armazenamento da água no solo;

Tipo de uso da terra e o tipo de cultura agrícola ou florestal envolvida no sistema agroflorestal modificam as características da solução do solo;

Devido à presença de uma camada de impedimento no solo (a partir de 50 cm de profundidade), é possível explicar o motivo pelo qual alguns elementos têm sua concentração aumentada na solução do solo, com o aumento da profundidade, pois não é possível uma rápida passagem para camadas mais profundas;

O sistema agroflorestal em estudo gerou adições e perdas de nutrientes, promovendo uma flutuação com o tempo.

6.5 Referências bibliográficas

ANDRADE, E.M.; D'ALMEIDA, D.M.B.A.; MEIRELES, A.C.M.; LEMOS FILHO, L.C.A.; ARRUDA, F.E.R. Evolução da concentração iônica da solução do solo em áreas irrigadas na Chapada do Apodi, CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.35, n.1, 2004, 9-16.

APHA – Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. American Public Health Association, American Water Works, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 1998.

BRANDAO, S.L.; LIMA, S.C.. pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de Pinus e Cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia**, 3(6), p. 46 – 56, Jun/2002.

CALDER, I.R.; SWAMINATH, M.H.; KARIYAPPA, G.S.; SRINIVASALU, N.V.; SRINIVASA MURTY, K.V.; MUMTAZ, J. Measurements of transpiration from *Eucalyptus* plantation, India using deuterium tracing. In: Calder, I.R., Hall, R.L. and Adlard, P.G. Editors, 1992. Proc. Int. Symp.on the Growth and Water Use of Forest Plantations. Bangalore, 7-11. February, 1992. P. 196-215.

CHAVES, J.C. Especiação química da solução do solo para interpretação da adsorção de cálcio e alumínio por raízes de cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p. 447-453, 1991.

DOUROJEAMI, M. O eucalipto não é o vilão. Disponível em: <http://www.sbs.org.br/destaques_oecalipto>. Acessado em: 29/11/2005.

FIBRA (Jornal da CENIBRA), n. 217 – Novembro de 2003. Disponível em: <http://www.ipef.br/hidrologia/eucaliptoegua.asp>

GRASSI FILHO, H. Disponível em: <http://www.fca.unesp/intranet/helio.php>. Acessado em 31/10/2007.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2001. 531p.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo:EDUSP. 1993.

MEURER, E.J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Gênese, 2004. 290 p.

MIRANDA, J.; COSTA, L.M.; RUIZ, H.A.; EINLOFT, R.. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 30:633-647, 2006.

SHUMACHER, M.V.; TRÜBY, P.; NAVROSKI, M.C. Adição de nutrientes pela água da chuva em uma floresta Estacional Decidual em comparação com o campo nativo em Itaara. **Relatório parcial de pesquisa**. 2008.

SCHUMACHER, M.V.; TRÜBY, P.; LOPES, V.G. Características químicas da água em florestas de Pinus no sul do Brasil. **Relatório parcial de pesquisa**. 2008.

ZAMBROSI, F.C.B. **Calagem e gessagem na especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

7. RESUMO PARCIAL DA BIOGEOQUÍMICA DO SISTEMA AGROFLORESTAL, MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA E NO SOLO

Resumo

Este capítulo teve por objetivos demonstrar um resumo parcial da biogeoquímica do sistema agroflorestal em estudo, mostrando a distribuição dos macronutrientes na biomassa acima do solo e no solo. Para tanto, foram considerados como entradas no sistema, a poeira e precipitação pluviométrica e a adubação realizada nas culturas agrícolas, sorgo e girassol e para o eucalipto. Através de um esquema, demonstrou-se todas as frações e partes que serão avaliados nesse sistema agroflorestal nos 7 anos de duração desse estudo. Os cálculos foram realizados com base nas análises realizadas em laboratório, das amostras de água da chuva e dos tecidos vegetais; para o cálculo dos nutrientes no solo, utilizou-se a análise de solo realizada para o mesmo. No presente estudo, foi possível quantificar as entradas de macronutrientes, a absorção dos mesmos pelas culturas e o conteúdo destes no solo; futuramente; será possível quantificar as entradas provenientes do gotejamento das copas, precipitação interna, escoamento pelo tronco e serapilheira. Também será possível avaliar a lixiviação, com base nos dados provenientes da solução do solo coletados através de lisímetros já instalados. As entradas de nitrogênio totalizaram 179, 76 kg ha⁻¹ pela precipitação e adubação; o fósforo totalizou 74, 31 kg ha⁻¹ pela precipitação e adubação, o potássio via precipitação e adubação totalizou 79, 37 kg ha⁻¹, o cálcio via precipitação e adubação totalizou 14,12 kg ha⁻¹ e o magnésio via precipitação e adubação totalizou 2,09 kg ha⁻¹. O solo apresenta 432, 49 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 63,61 kg ha⁻¹ de fósforo, 1.656 kg ha⁻¹ de potássio, 65.250 kg ha⁻¹ de cálcio e 5.439,60 kg ha⁻¹ de magnésio.

Palavras-chave: entrada de nutrientes, absorção de nutrientes, ciclo biogeoquímico.

Abstract

This chapter had as objective to demonstrate a partial summary from the biogeochemical in the agroforestry system studied, showing the macronutrients distribution in

above ground biomass and in the soil. For this, as inputs, it was considered the rain and dust and also fertilizations done for sorghum, sunflower and eucalyptus. Through a scheme, all the fraction and parts that would be evaluated in these system during the 7 years of this study. The calculations were based on the water precipitation samples and on vegetal tissues analysis; for soil calculations it was used the soil analysis. In this study it was possible to quantify the macronutrients inputs and its absorption through the crops and also the amounts of these nutrients in soil; next year it is going to be possible to quantify the nutrients inputs through stem flow, internal precipitation and litter. The runoff is also going to be calculated through soil solution samples collected through lisimeters already installed in the field. The inputs of nitrogen totalized 179,76 kg ha⁻¹ through precipitation and fertilization; phosphorus totalized 74,31 kg ha⁻¹ through precipitation and fertilization, potassium through precipitation and fertilization totalized 79,37 kg ha⁻¹, calcium 14,12 kg ha⁻¹ and magnesium 2,09 kg ha⁻¹. Soil had 432,49 kg ha⁻¹ of nitrogen, 63,61 kg ha⁻¹ of phosphorus, 1.656 kg ha⁻¹ of potassium, 65.250 kg ha⁻¹ of calcium and 5.439,60 kg ha⁻¹ magnesium.

Key-words: nutrients input, nutrients absorption, biogeochemical cycling.

7.1 Introdução

Os nutrientes existentes no solo, fator importante da chamada produtividade do sítio, são oriundos de duas fontes principais: o processo de intemperismo das rochas e a adição pelas chuvas. A manutenção desta produtividade ao longo de sucessivas rotações florestais depende da velocidade de liberação de novos nutrientes pelo intemperismo e pela adição através das chuvas. A quantificação do primeiro processo é difícil. Em longo prazo é, sem dúvida, processo importante na renovação do estoque de nutrientes do solo. Em curto prazo, todavia, na escala de utilização do solo pelas plantações florestais, a dependência desta manutenção pela entrada de nutrientes via atmosfera passa a preponderar (Lima, 1985).

Numa floresta, esta entrada normal de nutrientes é aumentada significativamente após a interação da água da chuva com as copas das árvores, através do mecanismo de lixiviação (EATON et alii, 1983), (LIMA, 1979). Esta lixiviação é, em geral, maior em espécies latifoliadas do que em coníferas (KAUL & BILLINGS, 1963), (WELLS et alii, 1972), (PEUL & RAY, 1983/84). Nem toda a quantidade de nutrientes resultante da lixiviação representa, todavia, adição nova ao solo. Parte é devida ao chamado ciclo biogeoquímico de nutrientes,

ou seja resulta da retirada, pela água, de metabólitos lábeis de folhas das árvores, devolvendo-os ao solo. A outra parte resulta da lavagem das partículas secas captadas pelas copas das árvores, durante a estiagem e, neste sentido, representa uma contribuição extra de nutriente ao solo que é devida à presença da floresta (JOHNSON & SWANK, 1973).

A quantificação destes processos, ou seja, da entrada de nutrientes pelas chuvas e da lixiviação de nutrientes das copas das árvores pela água da chuva, representa, portanto, importante aspecto da ciclagem de nutrientes em um dado ecossistema. Para alguns nutrientes esta lixiviação é mais efetiva na ciclagem biogeoquímica do que a própria deposição anual das folhas, como é o caso do potássio (McCOLL, 1970). Geralmente os nutrientes associados a moléculas orgânicas (caso do nitrogênio e fósforo) são lixiviados menos, sendo mais reciclados através da queda das folhas. Já os nutrientes comumente encontrados na forma iônica (potássio, etc.) movem-se mais rapidamente pela lixiviação (EATON et al., 1973).

Após a interação com as copas das árvores, pelo processo de interceptação, e água da chuva é redistribuída em dois processos: e precipitação interna e o escoamento pelo tronco. A concentração de nutrientes nos dois processos varia de espécie para espécie (KAUL & BILLINGS, 1965), (EATON et al., 1973).

Os ciclos biogeoquímicos são processos naturais que por diversos meios reciclam vários elementos em diferentes formas químicas do meio ambiente para os organismos, e depois, fazem o processo contrário, ou seja, trazem esses elementos dos organismos para o meio ambiente (Rosa et al., 2003).

Este capítulo teve por objetivo fazer um resumo da biogeoquímica do sistema agroflorestal em estudo, a fim de se estabelecer a dinâmica dos nutrientes nesta área.

7.2 Material e métodos

Com base nas análises químicas realizadas na água da precipitação (juntamente com a poeira), coletada na área experimental e com informações referentes à adubação realizada na área (para as culturas agrícolas sorgo e girassol e para a cultura do eucalipto), foi possível calcular a entrada dos elementos nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Para o cálculo da absorção desses elementos nos componentes vegetais, foi utilizado o levantamento da biomassa realizado anteriormente, as análises de tecido vegetal dos componentes desta biomassa e as análises de solo.

Até o presente momento, estes são os fatores possíveis de serem avaliados e calculados, mas a partir da metade do ano de 2008, onde serão instalados funis coletores de água da chuva no interior dos tratamentos, bem como coletores para se quantificar o escoamento pelo tronco. Bandejas coletoras de serapilheira serão instaladas aleatoriamente, com o intuito de se analisar mais essa forma de retorno nutricional ao sistema.

Através dos lisímetros, que já estão instalados nos diferentes tratamentos, será possível, também, continuar o monitoramento das características da solução do solo.

Na Figura 7.1, está demonstrado esquematicamente, todos os fatores que serão analisados no decorrer do período total do estudo.

Figura 7.1 – Esquema parcial da biogeoquímica do sistema agroflorestal

A – ENTRADAS – Poeira/precipitação

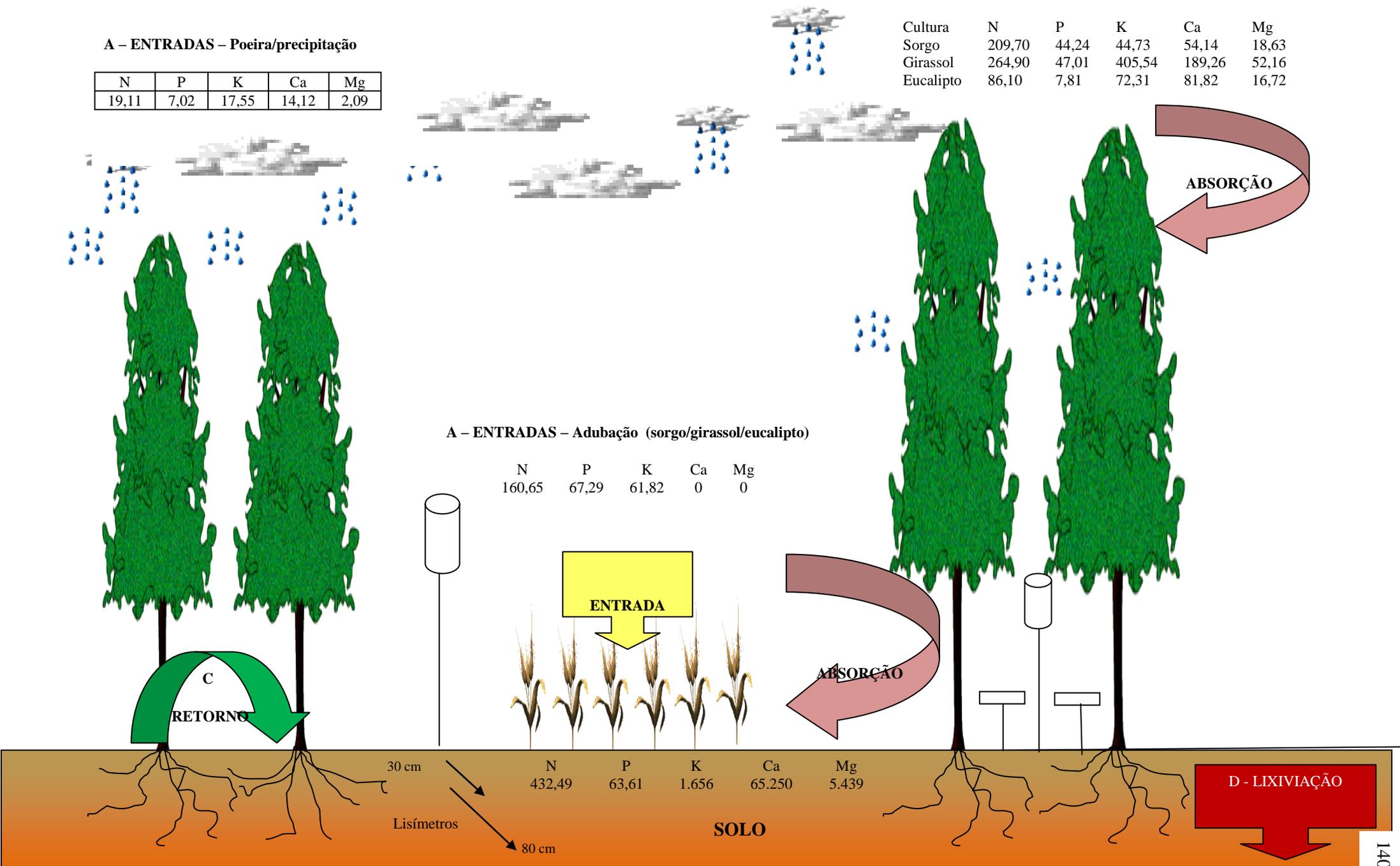
N	P	K	Ca	Mg
19,11	7,02	17,55	14,12	2,09

B – ABSORÇÃO(sorgo/girassol/eucalipto)

Cultura	N	P	K	Ca	Mg
Sorgo	209,70	44,24	44,73	54,14	18,63
Girassol	264,90	47,01	405,54	189,26	52,16
Eucalipto	86,10	7,81	72,31	81,82	16,72

A – ENTRADAS – Adubação (sorgo/girassol/eucalipto)

N	P	K	Ca	Mg
160,65	67,29	61,82	0	0



N	P	K	Ca	Mg
432,49	63,61	1.656	65.250	5.439

SOLO

7.3 Resultados e discussão

7.3.1 Eucalipto

O eucalipto, no momento da análise da biomassa acima do solo e da análise de tecido, estava com 16 meses de idade. É importante ressaltar que o eucalipto somente será colhido quando completar 7 anos de idade, pois é com esta idade que o mesmo será utilizado para a produção de celulose. A biomassa do eucalipto totalizou 10.974 kg ha⁻¹, sendo 45,28% na madeira, 26,31% nos galhos, 19,96% nas folhas e 8,45% na casca.

Autores como Neves (2000), encontraram como biomassa total de eucalipto (acima e abaixo do solo), em diferentes clones, o valor médio de 214,60 Mg ha⁻¹.

Isso também é salientado por Schumacher (1992), que segundo ele 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 iniciam a competir entre si por espaço, a produção relativa do tronco aumenta e as de folhas e ramos diminui gradativamente.

Reis et al. (1985), estudando o acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado, observaram 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.

Poggiani et al. (1983) e Pereira et al. (1984), analisando povoamentos de *E. saligna* aos 8,0 e 9,0 anos de idade, respectivamente, verificaram que em média 85% da biomassa aérea encontrava-se no fuste (madeira + casca) e o restante na copa.

Já Santana et al. (1999), encontraram valores superiores em relação aos encontrados pelos autores citados anteriormente, variando entre 88 e 92% a biomassa de fuste em diferentes procedências de *Eucalyptus saligna* e *E. grandis* em 5 sítios diferentes aos 6,5 anos de idade, no estado de São Paulo.

7.3.2 Sorgo

O sorgo, uma cultura agrícola anual de verão, apresentou como biomassa total acima do solo de 9.876 kg ha^{-1} , sendo o componente colmo o que é mais abundante na biomassa (47,74% do total), seguido dos grãos (34,61%) e folhas (17,67%). O nitrogênio (N) é o elemento que se apresenta em maior quantidade na biomassa acima do solo ($209,70 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido pelo cálcio ($54,14 \text{ kg ha}^{-1}$), potássio ($44,73 \text{ kg ha}^{-1}$), fósforo ($44,24 \text{ kg ha}^{-1}$) e magnésio ($18,63 \text{ kg ha}^{-1}$). É fundamental analisar que estes valores referem-se a toda a biomassa acima do solo, e quando do momento da realização da colheita, quando possível, deve-se deixar no local as frações que não serão comercializadas ou utilizadas para outros fins com o objetivo de promover um retorno dos nutrientes ao sistema; uma vez que grande parte do total dos nutrientes está alocado nas partes não comercializáveis das culturas agrícolas, além de, reduzir no futuro a necessidade de adubação.

7.3.3 Girassol

O girassol, também uma cultura anual de verão, apresentou um total de biomassa acima do solo no valor de $11.958 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo distribuída em: 33,03% no caule, 21,62% no capítulo, 21,32% nos grãos e 24,03% nas folhas. Na biomassa acima do solo, o potássio é o elemento que apresenta-se em maior quantidade, seguido do nitrogênio, cálcio, fósforo e magnésio. Por ser uma cultura agrícola, e essa apresentar ciclo curto, é importante que seus resíduos não utilizáveis comercialmente sejam espalhados sobre o solo, com o objetivo de promover o retorno desses nutrientes ao sítio.

7.4 Conclusões

É de fundamental importância, quando possível, que as frações não utilizáveis da colheita, tanto agrícola, quanto florestal, sejam deixadas sobre o solo, com o intuito de promover um retorno de nutrientes ao sistema, reduzir a exportação do mesmo para fora do sítio, e também proteger o solo da erosão.

Os *inputs* orgânicos também têm importante vantagem sobre os fertilizantes inorgânicos, com relação ao efeito residual e à sustentabilidade. Grande parte do nitrogênio

que existe na cobertura morta e que não é aproveitado pelas culturas, fica incorporado de forma ativa ou pouco ativa dentro da matéria orgânica do solo, enquanto que parte considerável do nitrogênio proveniente dos fertilizantes químicos, não aproveitado pelas culturas, fica sujeito a perdas por lixiviação e por desnitrificação.

Sistemas agroflorestais, são alternativas que visam o aumento da biodiversidade, seja do solo, da vegetação e da fauna benéfica associada, o aumento da produção de biomassa aérea, da matéria orgânica do solo, a redução/eliminação de resíduos de agrotóxicos nos produtos agrícolas e no meio ambiente e a perda de nutrientes e água. Além disso, busca-se a recuperação das relações funcionais entre os componentes do sistema manejado e a sua otimização temporal-espacial visando maximizar o uso do potencial dos recursos naturais envolvidos.

Existem muitos valores de uso indireto que os sistemas agroflorestais oferecem para a humanidade, não captados pelo mercado, destacam-se: i) a manutenção das condições de habitabilidade do planeta, ii) a manutenção dos ciclos biogeoquímicos; iii) a manutenção do clima; iv) a oferta de paisagem/amenidades; v) a proteção de mananciais hídricos; vi) a proteção da diversidade de genes e espécies; vii) o seqüestro/estoque de carbono e; viii) a reciclagem de resíduos urbano-industriais.

7.5 Referências bibliográficas

EATON, J.S.; LIKENS, G.E.; BORMANN, .H. Throughfall and stemflow chemistry in a northern hardwood forest. **Journal of Ecology** , 61: 495-508, 1973.

JOHNSON, P.L. and SWANK, W.T. Studies of cation budgets in the southern Appalachians on four experimental watersheds with contrasting vegetation. **Ecology**, 54: 70-80, 1973.

KAUL, O.N. and BILLINGS, W.D. Cation content of stemflow in some forest trees in North Carolina. **The Indian Forester**, 91(6): 367-370, 1965.

LIMA, W.P. Alteração do pH, da condutividade e das concentrações de Ca, Mg e P da água da chuva em floresta de **Pinus caribaea** Mor. var. **caribaea**. **IPEF**, Piracicaba (18): 37-54, 1979.

LIMA, W.P. Ação das chuvas no ciclo biogeoquímico de nutrientes em plantações de pinheiros tropicais e em cerradão. **IPEF**, n.30, p. 13-17, 1985.

McCOLL, J.G. Properties of some natural waters in a tropical wet forest of Costa Rica. **Bioscience**, 20: 1096-1100, 1970.

NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região do Espírito Santo. Tese de Doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 191 p. 2000.

PEHL, C.E. and RAY, K.F. Atmospheric nutrient inputs to three forest types in east Texas. **Forest Ecology and Management**, 7:11-18, 1983/84.

REIS, M.G.F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* W. Hill (ex-Maiden) plantado no Cerrado, em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, v. 09, n. 2, p. 149-162, 1985.

RHODEN, A.C. et al. Mineralização aeróbia do nitrogênio em solos de várzea do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**. V.36, n.6. p. 1780-1787. Nov/dez. 2006.

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. 87p. Dissertação(Mestrado) – ESALQ/USP, Piracicaba.

WELLS, C.G; WHIGAM,D. and LIETH, H. Investigation of mineral nutrient cycling in a upland piedmont. forest. **The Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society**, 88(2): 66-78, 1972.