

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

Huan Pablo de Souza

**ADUBAÇÃO DO *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake EM SOLO
ARENIZADO NO BIOMA PAMPA**

**Santa Maria, RS
2017**

Huan Pablo de Souza

ADUBAÇÃO DO *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake EM SOLO ARENIZADO NO BIOMA PAMPA

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 a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal**.

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

**Santa Maria, RS
2017**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Souza, Huan Pablo de
ADUBAÇÃO DO *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake EM SOLO
ARENIZADO NO BIOMA PAMPA / Huan Pablo de Souza.- 2017.
88 p.; 30 cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher
Coorientador: Solon Jonas Longhi
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Arenização 2. Biomassa florestal 3. Nutrição
florestal 4. Solos florestais I. Schumacher, Mauro
Valdir II. Longhi, Solon Jonas III. Título.

© 2017

Todos os direitos autorais reservados a Huan Pablo de Souza. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.
E-mail: huan.pablo@hotmail.com

Huan Pablo de Souza

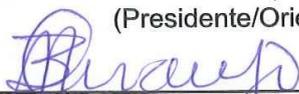
ADUBAÇÃO DO *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake EM SOLO ARENIZADO NO BIOMA PAMPA

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 a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Florestal**.

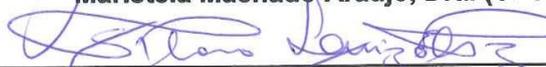
Aprovado em 15 de dezembro de 2017:



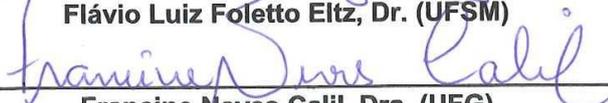
Mauro Valdir Schumacher, Dr. nat. techn. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



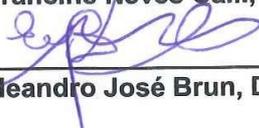
Maristela Machado Araujo, Dra. (UFSM)



Flávio Luiz Foletto Eltz, Dr. (UFSM)



Francine Neves Calil, Dra. (UFG)



Eleandro José Brun, Dr. (UTFPR)

Santa Maria, RS
2017

A sabedoria é um paradoxo. O homem que mais sabe é aquele que mais reconhece a vastidão da sua ignorância.

Friedrich Wilhelm Nietzsche

AGRADECIMENTOS

Agradeço especialmente ao Prof. Titular Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela oportunidade, ensinamentos, orientações, confiança e amizade.

Aos componentes da banca examinadora.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade.

À empresa StoraEnso Florestal, por acreditar em nosso trabalho e viabilizar a realização do doutorado e dessa pesquisa.

Aos Engenheiros Florestais da StoraEnso João Fernando Borges, Dr. Claudiney do Couto Guimarães e M.Sc. Daniela Ricalde Torres. As contadoras Marciane Halinski e Fernanda Secchi, e aos Administradores Camila Duarte e Leandro Saldanha.

Aos Engenheiros Florestais M.Sc. Francisco Assis Silva Ferreira e João Carlos Barrichelo, por suas contribuições ao longo da caminhada.

Ao Administrador e Técnico Marcelo Goularte, além dos funcionários da JFI Silvicultura, Luís Antônio Vitorino, Vilmar Silveira e a dona Mara.

Aos amigos e colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, LABEFLO, pelos momentos de alegria que compartilhamos.

Ao amigo, Engenheiro Florestal Dr. Thomas Schröder, pelo apoio nas análises estatísticas dos dados.

Aos meus avós Eugen Schiestl e Florinda De Freyn Schiestl que sempre incentivaram e compreenderam os meus sonhos, a minha mãe Edith Schiestl, e aos meus irmãos Pâmela, Rubens e Darlan.

RESUMO

ADUBAÇÃO DO *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake EM SOLO ARENIZADO NO BIOMA PAMPA

AUTOR: HUAN PABLO DE SOUZA
ORIENTADOR: MAURO VALDIR SCHUMACHER

O *Eucalyptus* é o gênero florestal mais plantado no Brasil e no mundo. Os povoamentos estão estabelecidos nos mais variados ambientes que proporcionam diferentes níveis de produtividade. No estado do Rio Grande do Sul, novas plantações estão sendo estabelecidas na região do bioma Pampa, onde existem solos arenizados por consequência de processos naturais ou ainda acelerados através da atividade antrópica. Esses solos apresentam baixa fertilidade natural. Atualmente os manejos utilizados apresentam resultados pouco satisfatórios do ponto de vista produtivo e econômico. Nesse contexto o presente trabalho pretende contribuir com alternativas viáveis ao uso dos solos arenizados para a produção florestal com espécies do gênero *Eucalyptus*. O objetivo desse trabalho foi avaliar os aspectos silviculturais do *Eucalyptus urophylla* submetido a cinco regimes de fertilização, com três repetições para cada tratamento. O experimento foi implantado em maio de 2015 em núcleo arenizado no município de Maçambará - RS, em propriedade da empresa StoraEnso Florestal, totalizando 27.000 m² de área experimental em forma de delineamento inteiramente casualizado (DIC). A quantidade de mudas foi igual para todos os tratamentos, já as fontes e doses de fertilizantes foram variadas de acordo com a expectativa de produção da biomassa. Mensalmente foram determinadas a produção de serapilheira e precipitação pluviométrica incidente, aos 12 e 24 meses determinadas a produção de biomassa e produtividade dos tratamentos. Aos 12 meses a maior altura foi observada para o tratamento T 5, com 4,20 metros e 3,89 cm de DAP. A maior produção de biomassa aos 12 meses foi para o T 5, com 6,82 Mg ha⁻¹, seguido pelo T 4 com 5,88 Mg ha⁻¹, depois o T 2 com 5,12 Mg ha⁻¹, o T 3 com 4,83 Mg ha⁻¹ e com a menor produção de biomassa para o T 1 com 4,35 Mg ha⁻¹. Aos 24 meses, a maior produtividade foi observada para o T 5 com 28,20 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, o que representa 58,12% a mais que o T 1, que apresentou 11,80 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. A maior produção de serapilheira, entre os 12 e 24 meses, foi observada para o T 5 com 1406,58 kg ha⁻¹ ano⁻¹, o que representa 61,29% a mais que a serapilheira produzida no T 1, que foi de 544,54 kg ha⁻¹ ano⁻¹. A precipitação pluviométrica incidente anual média foi de 1922 mm, média que corresponde entre os meses de agosto de 2015 e maio de 2017. O elemento que apresentou a menor concentração média na solução da precipitação foi o P, com 0,01 mg L⁻¹, já as maiores concentrações foram observadas para o N e Ca com 1,08 g L⁻¹. A maior quantidade precipitada verificou-se para o Cl com 7,46 kg ha⁻¹ ano⁻¹, seguido pelo Ca com 7,02 Kg ha⁻¹ ano⁻¹, já a menor quantidade foi observada para o P com 0,06 kg ha⁻¹ ano⁻¹. O N foi o elemento que apresentou a maior concentração na biomassa aos 12 meses, sendo mais concentrado nas folhas. O Mn foi o micronutriente com maiores concentrações aos 12 meses, também para as folhas em todos os tratamentos. Aos 12 meses o K foi o elemento com maior acúmulo na biomassa com 51,68 kg ha⁻¹ no tratamento T 5 e 26,97 kg ha⁻¹ no T 1. O Mn foi o micronutriente com maior acúmulo aos 12 meses, com 5.792,67 g ha⁻¹ no tratamento T 5. Aos 24 meses as maiores concentrações na biomassa foram observadas para o Ca nos tratamentos T 1, T 3, T 4 e T 5 principalmente na casca, já no T 2 a maior concentração foi de N nas folhas. O Mn é o micronutriente com as maiores concentrações aos 24 meses, principalmente no componente casca. As maiores quantidades acumuladas de macro nutrientes aos 24 meses foram observadas para o Ca nos tratamentos T 1, T 3, T 4 e T 5, já o T 2 obteve maior acúmulo de K. Através dos resultados encontrados nesse trabalho espera-se contribuir com alternativas para a utilização dos núcleos arenizados através da implantações de povoamentos florestais. Ao longo das rotações acredita-se na melhoria das características químicas e físicas do solo, através da ciclagem de nutrientes e atividade biológica, além da proteção oferecida pelas árvores na cobertura do solo.

Palavras-chave: Arenização. Biomassa florestal. Nutrição florestal. Solos florestais.

ABSTRACT

FERTILIZATION OF *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake IN DEGRADED SANDY SOIL IN BIOMA PAMPA

AUTHOR: HUAN PABLO DE SOUZA
ADVISER: MAURO VALDIR SCHUMACHER

Eucalyptus is the most planted forest genus in Brazil and in the world. Populations are established in the most varied environments and provide different levels of productivity. In the state of Rio Grande do Sul, new plantations are being established in the region of the Pampa biome, where there are sanded soils due to natural processes or even accelerated through anthropic activity. These soils have low natural fertility. At present, the management used presents unsatisfactory results from a productive and economic point of view. In this context the present work intends to contribute with viable alternatives to the use of the sanded soils for the forest production with species of the genus *Eucalyptus*. The objective of this work was to evaluate the silvicultural aspects of *Eucalyptus urophylla* submitted to five fertilization regimes, with three replications for each treatment. The experiment was carried out in May 2015 in a sandstone core in the municipality of Maçambará - RS, owned by the company StoraEnso Florestal, totaling 27.000 m² of experimental area in the form of a completely randomized design (DIC). The number of seedlings was the same for all treatments, since the sources and doses of fertilizers were varied according to the expected biomass production. Monthly litter production and incident rainfall were determined, at 12 and 24 months determined the biomass production and yield of the treatments. At 12 months, the highest height was reached for the T5 treatment, with 4.20 meters and 3.89 cm of DAP. The highest biomass production at 12 months was for T 5, with 6.82 Mg ha⁻¹, followed by T 4 with 5.88 Mg ha⁻¹, then T 2 with 5.12 Mg ha⁻¹, T 3 with 4.83 Mg ha⁻¹ and with the lowest biomass production the T 1 with 4.35 Mg ha⁻¹. At 24 months, the highest productivity was observed for the T 5 with 28.20 m³ ha⁻¹ year⁻¹, which represents 58.12% more than the T 1, which presented 11.80 m³ ha⁻¹ year⁻¹. The highest litter production, between 12 and 24 months, was observed for the T5 with 1406.58 kg ha⁻¹ year⁻¹, which represents 61.29% more than the litter produced in T 1, which was 544.54 kg ha⁻¹ year⁻¹. The mean annual rainfall was 1922 mm, which corresponds between August 2015 and May 2017. The element that presented the lowest mean concentration in the precipitation solution was P, with 0.01 mg L⁻¹, the highest concentrations were observed for N and Ca with 1.08 g L⁻¹. The highest precipitated amount was found for the Cl with 7.46 kg ha⁻¹ year⁻¹, followed by Ca with 7.02 kg ha⁻¹ year⁻¹. The lowest amount was observed for P with 0.06 kg ha⁻¹ year⁻¹. N was the element that presented the highest concentration in the biomass at 12 months, being more concentrated in the leaves. Mn was the micronutrient with higher concentrations at 12 months, also for leaves in all treatments. At 12 months K was the element with the highest accumulation in biomass with 51.68 kg ha⁻¹ in the T 5 treatment and 26.97 kg ha⁻¹ in T 1. The Mn was the micronutrient with the highest accumulation at 12 months, with 5792.67 g ha⁻¹ in the T 5 treatment. At 24 months, the highest concentrations in the biomass were observed for Ca in the treatments T 1, T 3, T 4 and T 5, mainly in the bark already in T 2 the highest concentration was N in the leaves. Mn is the micronutrient with the highest concentrations at 24 months, mainly in the bark component. The highest accumulated amounts of macro nutrients at 24 months were observed for Ca in treatments T 1, T 3, T 4 and T 5, while T 2 obtained a higher accumulation of K. The results obtained in this work are expected to contribute with alternatives for the use of degraded sandy soils through the implantation of forest stands. Throughout the rotations we believe in the improvement of the chemical and physical characteristics of the soil, through the cycling of nutrients and biological activity, besides the protection offered by the trees in the ground cover.

Keywords: Degraded sandy soil. Forest biomass. Forest nutrition. Forest soils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zoneamento climático para o <i>Eucalyptus urophylla</i> no Brasil	17
Figura 2 – Distribuição geográfica dos biomas no Rio Grande do Sul	20
Figura 3 – Detalhe da localização geográfica do experimento com <i>Eucalyptus urophylla</i> , em solo arenizado no município de Maçambará – RS.....	28
Figura 4 – Perfil do solo de 0 - 200 centímetros de profundidade, na área do experimento com <i>Eucalyptus urophylla</i> , em núcleo arenizado no município de Maçambará – RS	32
Figura 5 – Plantação de <i>Eucalyptus</i> em solo arenizado no bioma Pampa.....	34
Figura 6 – Aspecto geral do experimento com <i>Eucalyptus urophylla</i> , em solo arenizado no município de Maçambará –RS, em maio de 2015, após a implantação	37
Figura 7 – Coletores de precipitação pluviométrica incidente, na área com <i>Eucalyptus urophylla</i> , no município de Maçambará - RS	48
Figura 8 – Coletor de serapilheira, aos 24 meses, na área do experimento com <i>Eucalyptus urophylla</i> , em solo arenizado, no município de Maçambará – RS.....	49
Figura 9 – Distribuição da precipitação pluviométrica incidente na área do estudo com <i>Eucalyptus urophylla</i> , no município de Maçambará – RS.....	51
Figura 10 – Valores médios do pH na precipitação pluviométrica incidente na área com <i>Eucalyptus urophylla</i> no município de Maçambará – RS.....	53
Figura 11 – Deposição da serapilheira e precipitação pluviométrica entre os meses de abril de 2016 e abril de 2017 no experimento com <i>Eucalyptus urophylla</i> , em solo arenizado no município de Maçambará – RS.....	55
Figura 12 – Aspecto geral do experimento com <i>Eucalyptus urophylla</i> em solo arenizado, no município de Maçambará – RS, aos 12 meses	67
Figura 13 – Análise da máxima eficiência técnica para o volume, aos 24 meses, nos diferentes tratamentos com <i>Eucalyptus urophylla</i> em solo arenizado, no município de Maçambará – RS.....	70
Figura 14 – Aspecto geral do experimento com <i>Eucalyptus urophylla</i> , em solo arenizado, aos 24 meses, no município de Maçambará – RS	71
Figura 15 – Análise da máxima eficiência técnica para a biomassa total, aos 24 meses, nos diferentes tratamentos com <i>Eucalyptus urophylla</i> em solo arenizado, no município de Maçambará – RS.....	75

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Atributos físicos do solo na área do experimento com *Eucalyptus urophylla* em núcleo arenizado no município de Maçambará – RS.....30
- Tabela 2 – Atributos químicos do solo na área do experimento com *Eucalyptus urophylla* em núcleo arenizado no município de Maçambará – RS.....31
- Tabela 3 – Descrição dos nutrientes utilizados no experimento com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS.....36
- Tabela 4 – Concentração média (mg L^{-1}) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica incidente no experimento com *Eucalyptus urophylla* no município de Maçambará – RS.....52
- Tabela 5 – Quantidade média (kg ha^{-1}) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica incidente no experimento com *Eucalyptus urophylla* no município de Maçambará – RS.....54
- Tabela 6 – Descrição dos procedimentos analíticos utilizados na determinação dos nutrientes, em amostras de tecido vegetal.....65
- Tabela 7 – Valores das variáveis dendrométricas no experimento com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 12 meses68
- Tabela 8 – Valores das variáveis dendrométricas no experimento com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 24 meses69
- Tabela 9 – Distribuição da biomassa nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus urophylla*, aos 12 meses, em solo arenizado no município de Maçambará – RS73
- Tabela 10 – Distribuição da biomassa nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus urophylla*, aos 24 meses, em solo arenizado no município de Maçambará – RS75
- Tabela 11 – Concentração de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 12 meses.....77
- Tabela 12 – Quantidade de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 12 meses.....79
- Tabela 13 – Concentração de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 24 meses.....80
- Tabela 14 – Quantidade de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 24 meses.....82

SUMÁRIO

1	ASPECTOS GERAIS	11
1.1	INTRODUÇÃO GERAL.....	11
1.1.1	Hipótese	12
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	EUCALIPTO E NUTRIÇÃO.....	14
2.1.1	<i>Eucalyptus urophylla</i>	16
2.1.2	Nutrição do Eucalipto	17
2.2	O BIOMA PAMPA E A ARENIZAÇÃO.....	19
2.3	BIOMASSA E NUTRIENTES.....	22
2.3.1	Ciclagem de nutrientes	25
2.3.2	Características do solo	26
2.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
2.4.1	Caracterização da área do estudo	27
2.4.2	Geologia, relevo e vegetação	28
2.4.3	Características climáticas	29
2.4.4	Estimativa do estoque de nutrientes no solo	29
2.5	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	32
2.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
3	ENTRADA DE NUTRIENTES PELA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA INCIDENTE E PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA	45
3.1	INTRODUÇÃO.....	46
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.2.1	Precipitação pluviométrica incidente	48
3.2.2	Quantificação da serapilheira	49
3.2.3	Análises de íons	50
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
3.3.1	Precipitação pluviométrica	51
3.3.1.1	<i>Características químicas da precipitação</i>	52
3.3.2	Deposição de serapilheira	55
3.4	CONCLUSÕES.....	57
3.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
4	BIOMASSA E NUTRIENTES	60
4.1	INTRODUÇÃO.....	62
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	63
4.2.1	Determinação da biomassa	63
4.2.2	Análises químicas e laboratoriais	64
4.2.3	Análises estatísticas	65
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.3.1	Características dendrométricas	66
4.3.2	Estimativa da biomassa	72
4.3.3	Nutrientes na biomassa	76
4.4	CONCLUSÕES.....	84
4.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
5	RECOMENDAÇÕES	88

1 ASPECTOS GERAIS

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

Conforme a Indústria Brasileira de Árvores, (IBÁ, 2017) as plantações para fins industriais no Brasil totalizaram 7,84 milhões de hectares em 2016, aumento de 0,5% em relação a 2015. As plantações correspondem a apenas 0,9% do território nacional. Além das árvores plantadas, do total de 851 milhões de hectares do Brasil, 66,1% encontravam-se cobertos por habitats naturais, 23,3% ocupados por pastagens, 6,2% por agricultura e 3,5% por redes de infraestrutura e áreas urbanas.

De acordo com IBÁ (2017), os povoamentos de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares das plantações no país, o que representa 72,70% do total, e estão localizados principalmente nos estados de Minas Gerais (24%), São Paulo (17%) e Mato Grosso do Sul (15%).

Para Associação Gaúcha de Empresas Florestais, (AGEFLOR, 2017) o Rio Grande do Sul possui 780 mil hectares cultivados com os povoamentos, o que corresponde a 10% das plantações brasileiras. A indústria de base florestal é responsável por 4% do PIB estadual, gerando 7% dos empregos e 3% da arrecadação de impostos estaduais. As plantações de eucaliptos ultrapassam os 426,7 mil hectares, correspondendo a 7,4% da área plantada com o gênero no Brasil.

A silvicultura ocupa os mais diversos tipos de solos, que possuem teores disponíveis e totais de nutrientes muito diferentes. Tais solos podem propiciar grande variação de produtividade das culturas florestais (BARROS; COMERFORD, 2002).

Para Martins et al. (2010), são visíveis as contribuições das plantações de eucaliptos para o desenvolvimento sócio econômico do Brasil, porém ainda é pouco ressaltada a importância dessa atividade econômica para a manutenção e conservação das florestas nativas, que deixam de ser exploradas em face da oferta de madeira oriunda dos povoamentos comerciais.

Na última década, a região oeste do Rio Grande do Sul recebeu importantes investimentos a fim de formar uma base florestal. Essa região apresenta grande variação de solos. Alguns com baixa fertilidade natural, além de degradados por

meio de processos naturais, ou agravados através do manejo inadequado ao qual foram submetidos ao longo dos últimos anos.

Conforme Bertê (2004), a arenização é um dos processos mais acentuados de degradação dos solos na região do bioma Pampa.

Suertegaray (1987) descreve detalhadamente a gênese dessas formações. Desde a década de 80 do século XX, vários trabalhos foram conduzidos afim de compreender o processo de arenização na região oeste do estado do Rio Grande do Sul, que apresenta núcleos significativos de solos que foram expostos e sofreram com os avanços desse processo de forma natural, ou ainda, acelerados e ativados através da atividade antrópica.

A demanda por madeira para uso industrial e geração de energia chegará a 5,2 bilhões de metros cúbicos por ano, um aumento de 40% nos próximos 35 anos, o que exigiria o plantio adicional de cerca de 210 milhões de hectares de eucalipto em todo o mundo, considerando os níveis atuais de produtividade (IBÁ, 2015).

Dessa forma, reforça-se a importância de destinar o uso dos núcleos arenizados para a produção florestal, potencializando assim, o uso de áreas hoje marginalizadas nas propriedades, reinserindo as mesmas nos contextos; ambiental, econômico e social.

1.1.1 Hipótese

A fertilização poderá aumentar, significativamente, a produtividade do *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no bioma Pampa?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar os aspectos silviculturais do *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no bioma Pampa.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estimar a entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica incidente;

- Determinar a produção de serapilheira;
- Quantificar a biomassa das árvores e o estoque de nutrientes nas mesmas;
- Definir o manejo nutricional mais adequado às plantações de eucalipto da espécie em solo arenizado no bioma Pampa;
- Avaliar a produtividade dos diferentes tratamentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EUCALIPTO E NUTRIÇÃO

O *Eucalyptus* foi plantado pela primeira vez no Brasil em 1824, no jardim Botânico do Rio de Janeiro, logo em seguida as primeiras mudas foram introduzidas no Rio Grande do Sul, entre 1835 e 1845. Já os primeiros plantios comerciais aconteceram em 1909 em Rio Claro – SP para o suprimento de madeira energética e dormentes da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (ANDRADE, 1961).

De acordo com AGEFLOR (2016), no Rio Grande do Sul em 1930 a viação férrea do estado começou a plantar eucaliptos para a obtenção de dormentes e abastecimento energético das locomotivas. Alguns anos depois, em 1953, a companhia estadual de energia elétrica passou a cultivar o gênero para a produção de postes.

O estado do Rio Grande do Sul ocupa a quinta posição, entre os maiores produtores de madeira originaria das plantações florestais no Brasil, onde em 2016, o eucalipto ocupava 426,7 mil hectares com fins comerciais (AGEFLOR, 2017).

Segundo a AGEFLOR (2016), o estado do Rio Grande do Sul possui mais de um século de história relacionada às plantações florestais. Com o aparecimento de alguns investimentos, o estado se tornou o mais promissor polo para as indústrias de base florestal do hemisfério sul. Porém, problemas de cunho jurídico levaram alguns investimentos para outros estados e países vizinhos.

Para Guimarães (2014), na última década o Brasil passou por um momento de crescimento significativo na sua base florestal, com destaque para investimentos de projetos de expansão e entrada de novos investidores na cadeia de papel e celulose, além da consolidação de Fundos de Investimentos nacionais e estrangeiros como fornecedores de madeira para suprir a demanda de diversos segmentos industriais.

O manejo adotado, bem como o ciclo de cultivo do eucalipto, varia, de acordo com o produto final desejado. Se o objetivo da madeira for atender as indústrias de celulose, papel, carvão, paletes, caixotaria e energia, a plantação será submetida a um ciclo curto, que implicará na colheita entre o 7º e 10º ano após o plantio. Quando a destinação for madeira sólida, indústria moveleira, construção civil e outros fins, que demandam madeira com maiores diâmetros, para a confecção do produto final,

o ciclo, será longo, com a colheita entre 14 e 25 anos após a implantação. Essa variação no tempo de cultivo esta relacionada à finalidade do produto, sistema de cultivo, espaçamento adotado, adubação, solo, condições climáticas, entre outros fatores (SCARPINELLA, 2002).

Os aspectos hídricos também possuem importância determinante nas plantações florestais, que influenciam na quantidade, qualidade e constância do suprimento hídrico do ambiente em que estão implantadas. Os povoamentos florestais se bem manejados, podem exercer influências positivas no balanço hidrológico (LIMA, 2010).

Leite et al. (2010), ao relacionar a evapotranspiração e transpiração dos eucaliptos com outras culturas, observaram que os valores estão muito próximos. Atribuindo dessa forma, possíveis impactos hidrológicos, ao manejo inadequado adotado e não a características de consumo hídrico das árvores.

No campus da Universidade Federal de Santa Maria, em um bosque com 0,89 hectares de *Eucalyptus camaldulensis*, Avila et al. (2007) identificaram 20 espécies nativas no sub-bosque, destacando a importância do povoamento para a regeneração do ambiente, e a contribuição que as plantações podem trazer para as áreas degradadas.

É importante ainda ressaltar a participação dos povoamentos florestais, para o refúgio da fauna silvestre, servindo de abrigo para inúmeras aves, mamíferos, répteis e insetos, contribuindo de maneira positiva para a manutenção da biodiversidade (Relatório interno StoraEnso, 2016).

Para a manutenção dos níveis de crescimento e incremento dos povoamentos, é necessário que se utilize manejo nutricional adequado, especialmente para aqueles solos em que o estoque de nutrientes é naturalmente baixo, viabilizando dessa forma, o estabelecimento de plantações comerciais competitivas de forma sustentável nessas áreas.

As condições de rápido crescimento e fechamento das copas, além da produção de serapilheira dos *Eucalyptus* contribuem significativamente para a cobertura dos solos arenizados. A produção florestal pode ser uma alternativa para a utilização econômica dessas áreas.

2.1.1 *Eucalyptus urophylla*

De acordo com Fonseca et al. (2010), existem mais de 600 espécies do gênero *Eucalyptus* que ocorrem na Austrália, Indonésia e Papua Nova Guiné. O *Eucalyptus urophylla* é uma das poucas espécies que não ocorrem na Austrália.

A espécie ocorre nas ilhas de Timor, Wetar, Adonara, Alor, Pantar e Lomblen, na Indonésia. Porém a sua distribuição geográfica é irregular, ocorrendo nas altitudes entre 400 e 3000 metros. Na sua área de ocorrência, as temperaturas médias máximas são de 29°C e as mínimas variam entre 8 e 12°C (GUNN; McDONALD, 1991).

Embora ocorra em região de solos pobres e muito variáveis, apresenta melhor adaptação em solos com texturas médias (NIETO; RODRIGUEZ, 2003).

As árvores de *Eucalyptus urophylla* que ocorrem em Timor alcançam 45 metros de altura e ultrapassam os 2 metros de diâmetro. No Brasil, o *Eucalyptus urophylla* foi introduzido em 1919, com o nome de *Eucalyptus alba* (ANDRADE, 1961).

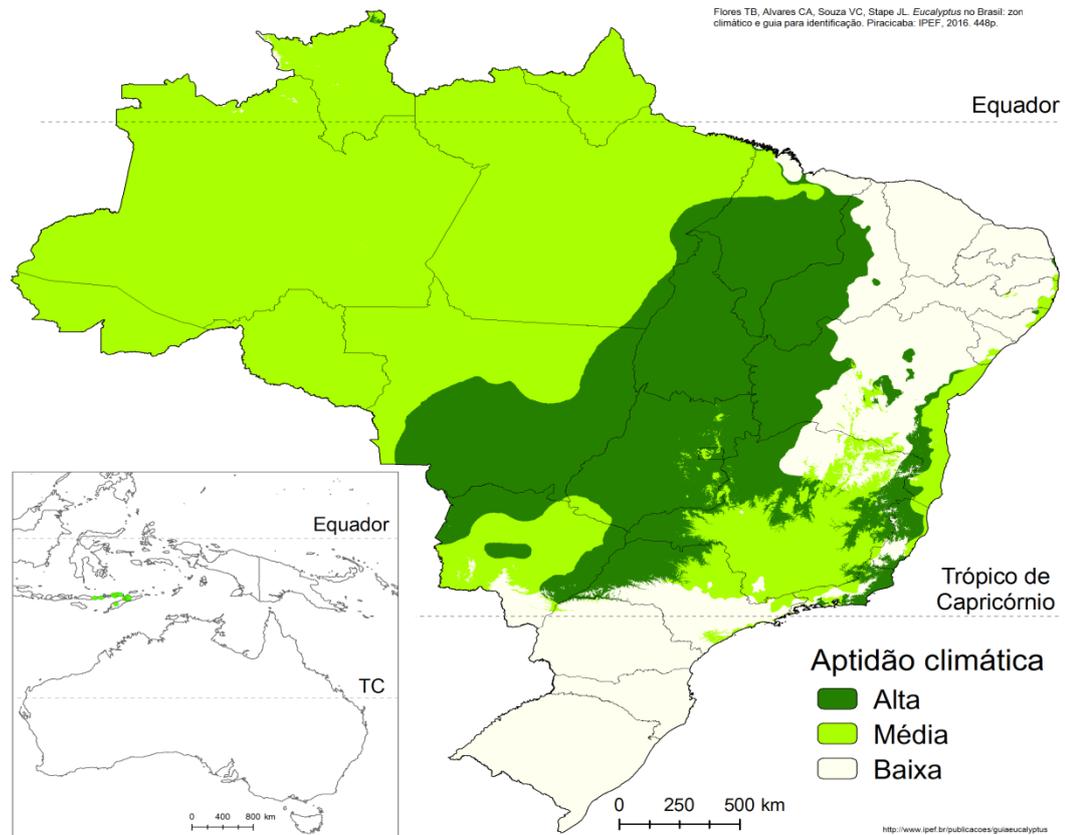
Eucalyptus urophylla foi oficialmente adotado em 1977, após estudos realizados por Blakely (PÁSZTOR et al., 1990).

Segundo Fonseca et al. (2010), o *Eucalyptus urophylla* é uma espécie com grande capacidade de adaptação, rápido crescimento e resistente a seca. Possui ainda boa capacidade de enraizamento e brotação das cepas.

No Brasil, a espécie tem apresentado boa adaptabilidade em diferentes regiões. Sua madeira é utilizada nas indústrias de celulose, carvão, energia entre outros usos. Atualmente, a espécie é largamente utilizada para a formação de híbridos com o *Eucalyptus grandis*, visando à obtenção de genótipos melhorados (FONSECA et al., 2010).

Para Flores et al. (2016), o *Eucalyptus urophylla* possui maior aptidão climática para as regiões mais tropicais do país, principalmente para os estados de; SP, MG, BA, ES, PI, MA, TO, GO, MT e MS, devido a sua ocorrência natural próximo à linha do Equador. Dessa maneira a recomendação para a região subtropical é considerada baixa, de acordo com a aptidão climática sugerida pelos autores, conforme é possível observar na Figura 1.

Figura 1 – Zoneamento climático para o *Eucalyptus urophylla* no Brasil



Fonte: Flores et al. (2016).

2.1.2 Nutrição do Eucalipto

Para Gonçalves et al. (2004), o gênero *Eucalyptus* e seus híbridos, são espécies bem adaptadas aos solos distróficos, sendo que possuem pouca sensibilidade à acidez, dessa maneira, toleram altas concentrações de Al e Mn. Devido a isso, a calagem nas plantações de eucaliptos tem a função de suprir as plantas de Ca e Mg.

Barros e Novais (1995) identificaram ganhos significativos na produção de madeira, em resposta a fertilização, na maioria das plantações de eucalipto no Brasil.

Conforme Laclau et al. (2010), as respostas à fertilização são ainda mais evidentes em solos de baixa fertilidade. As melhores respostas à adubação ocorrem até os 24 meses após o plantio, época em que geralmente ocorre o fechamento do dossel, havendo, baixa resposta à adubação após este fenômeno / idade.

Quando existe resposta à fertilização, acontece a expansão do índice de área foliar, podendo também aumentar o período de retenção da folha e ainda elevar a atividade fotossintética (LACLAU et al., 2009).

Para Gonçalves et al. (2013), a interação genótipo e ambiente tem grande influência na absorção e eficiência no uso dos nutrientes, resultando em maior ou menor acúmulo de biomassa.

Nas plantações de eucaliptos, as maiores respostas a fertilização podem ser observadas para P, K e B. Em algumas condições também é possível observar respostas para N e Ca (GONÇALVES et al., 2011).

De acordo com Gonçalves et al. (2004), as doses de fósforo podem ser aplicadas integralmente, isso devido a baixa mobilidade desse elemento no solo. Já para as dosagens de potássio e nitrogênio os autores sugerem que sejam feitas de forma parcelada.

O equilíbrio nutricional é fator preponderante para a manutenção na sanidade das plantações de eucaliptos. Elementos como o potássio, por exemplo, que exercem função no controle estomático possuem importância essencial para o crescimento (ALFENAS et al., 2009).

Conforme Gonçalves et al. (1996), para os solos arenosos que apresentam baixos teores de matéria orgânica, as respostas obtidas através das adubações nitrogenadas são bastante expressivas.

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (2016), destaca que para os solos do sul do país, onde os teores de matéria orgânica forem baixos (< 2,5 %), recomenda-se nas plantações de eucaliptos a aplicação de B, Zn e Cu. Preconiza ainda, que nos solos com baixo teor de matéria orgânica, é recomendada a adubação nitrogenada, que deve ser parcelada. Já as doses de P podem ser aplicadas no momento do plantio, sem a necessidade do parcelamento.

Os aumentos em produtividade são significativos em resposta a fertilização nas plantações de eucalipto, especialmente em solos de baixa fertilidade (GONÇALVES et al., 2008), Esse fato fica evidente nos resultados encontrados para o *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no bioma Pampa.

Para Barros et al. (2013), o solo é responsável por promover o suprimento mineral necessário para o crescimento das árvores. De maneira mais ou menos significativa, suas características físicas, químicas e biológicas influenciam na

disponibilização, retenção e dinâmica nutricional, interferindo no crescimento do povoamento.

Conforme Gonçalves et al. (2015) a utilização de clones com maior adaptabilidade as condições de stresse nutricional podem trazer incrementos significativos, quando comparados com plantações seminais.

Os genótipos propagados através da clonagem possuem baixa plasticidade, em comparação com materiais propagados por via seminal, por consequência demandam de maior atenção na relação genótipo ambiente (ALFENAS et al., 2009).

Dessa maneira, a experimentação prévia a recomendação de genótipos clonais é fundamental para a obtenção de resultados positivos, através da implantação de clones bem adaptados ao ambiente.

2.2 O BIOMA PAMPA E A ARENIZAÇÃO

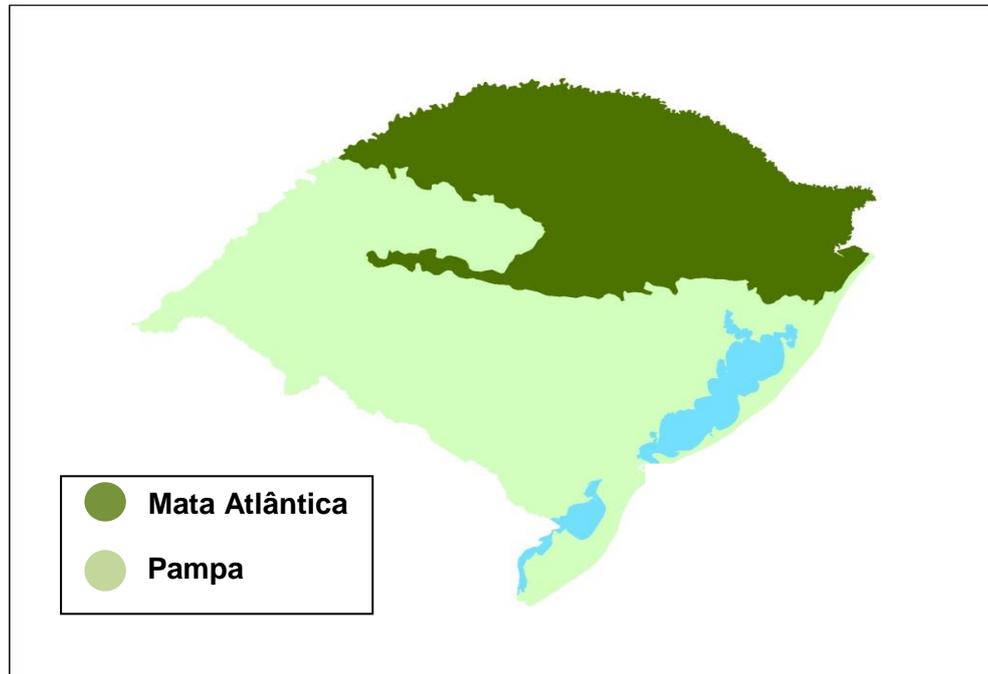
O bioma Pampa constitui um sistema único, cobrindo uma área de aproximadamente 700 mil km², presente no Brasil, Argentina e Uruguai (MMA, 2007).

No Brasil, o Pampa está restrito ao estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa uma área de 176.496 km². Isto corresponde a 63% do território estadual e a 2,07% do território brasileiro (IBGE, 2004).

As paisagens naturais do Pampa são variadas, com extensas planícies, morros e coxilhas. O bioma exibe um imenso patrimônio cultural associado à biodiversidade. As paisagens naturais do Pampa se caracterizam pelo predomínio dos campos nativos, mas há também a presença de matas ciliares, matas de encosta, formações arbustivas, butiazais, banhados e afloramentos rochosos (MMA, 2007).

No oeste do Rio Grande do Sul, existem áreas com intensa degradação causada pelo processo de arenização, uma das principais regiões de ocorrência dos areais é a bacia hidrográfica do Arroio Puitã, nos municípios de Itaqui, Maçambará e São Borja (SOUZA e PIRES, 2017).

Figura 2 – Distribuição geográfica dos biomas no Rio Grande do Sul



Fonte: IBGE (2004).

Segundo Streck et al. (2008), o solo, em geral é de baixa fertilidade natural e bastante suscetível à erosão, o que demanda cuidados especiais para as práticas de manejo e conservação.

A arenização, processo morfogênico de formação dos areais, pode ser um dos cenários mais intensos de degradação ambiental na região do bioma Pampa (BERTÊ, 2004).

Souto (1984) definiu o fenômeno como deserto, e o processo como desertificação, associando esse evento as causas antrópicas, identificando como principais agentes formadores dos areais o pastoreio com demasiada carga animal e o preparo intensivo do solo para cultivos agrícolas.

De acordo com Suertegaray (1987), existem relatos da presença de areais no bioma Pampa desde o século XVIII, quando a ocupação do território estava iniciando. Essa pesquisadora propôs o termo arenização, para as áreas arenosas desprovidas de vegetação, que vinham sendo tratadas equivocadamente de desertos.

Para Suertegaray (1998), os núcleos arenizados são depósitos areníticos não consolidados, desprovidos de vegetação e retrabalhados sob os processos característicos do clima atual, sofrendo grande influência de chuvas e ventos,

dificultado assim, a fixação de cobertura vegetal. Esses núcleos não apresentam características de áreas em processo de desertificação. Ao contrário, são núcleos arenizados, que estão sendo ativados sob o clima úmido.

A arenização possui origem de cunho natural, porém é importante ressaltar que o processo vem sendo acelerado através da ação antrópica, principalmente pelo uso inadequado da terra (SUERTEGARAY, 1995).

De acordo com Robaina et al. (2010), de maneira geral, as áreas de ocorrência dos areais possuem o relevo do tipo colinas associadas à morrotes isolados de arenitos. Nessas áreas encontra-se a presença de arenitos pouco coesos e solos arenosos que tendem a facilitar a ação hídrica e eólica favorecendo a formação de areais, ravinas e voçorocas.

Os núcleos arenizados possuem como substrato principal o arenito da formação Botucatu, constituídos de depósitos arenosos não consolidados originários de deposições hídricas e eólicas (SUERTEGARAY, 1998).

Conforme Scherer e Lavina (2005), na região oeste do Rio Grande do Sul, também ocorrem, núcleos de arenização na formação Guará, que apresentam coloração bege a esbranquiçada e origem fluvial com processos eólicos associados. Caracterizam-se pela granulometria grossa e média, por vezes finas e com matriz argilosa.

Segundo Souza e Pires (2017), os areais que ocorrem na bacia hidrográfica do Arroio Puitã, em sua maioria tem origem nos arenitos fluviais, associados aos processos eólicos e estão inseridos na formação Guará.

Os primeiros trabalhos na tentativa de recuperação dos areais partiram da Secretaria de Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul, através de um projeto piloto instalado no município de Alegrete. Nesse projeto estava prevista a implantação de quebra ventos com o plantio de espécies arbóreas e arbustivas. Com a conclusão do projeto, foi possível identificar que o eucalipto era a espécie que melhor se adaptava aos areais (SOUTO, 1984).

Desde então, alguns trabalhos foram conduzidos em solos arenizados com o objetivo de encontrar alguma alternativa para a recuperação dessas áreas. Nesse contexto, a presente pesquisa pretende contribuir com alternativas de viabilidade econômica para a reinserção desses solos no contexto produtivo através de plantações com eucalipto, melhorando as condições do solo ao longo das rotações.

Streck et al. (2008) destacam que uma das alternativas para o uso dos solos arenizados é a silvicultura com o eucalipto, que deverá receber práticas adequadas para que as plantações se estabeleçam nesse solo.

Silva (2009), ao quantificar as perdas de solo na região sudeste do Brasil, em condições de floresta nativa, povoamento de eucaliptos e solo exposto, verificou comportamento semelhante entre floresta nativa e plantações de eucaliptos, já o solo exposto ficou monumentalmente à frente em perdas de solo. Os seguintes valores foram observados: Floresta nativa: $0,080 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, eucalipto: $1,050 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, solo exposto: $25,55 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

A silvicultura com *Eucalyptus* nos solos arenizados pode contribuir de forma significativa na diminuição das perdas de solo causadas pelas chuvas e pelos ventos, uma vez que as árvores formam uma barreira protetora através da biomassa acumulada acima e abaixo do solo.

2.3 BIOMASSA E NUTRIENTES

Antes do fechamento de copas, a prioridade de alocação de fotoassimilados é para a expansão da área foliar e desenvolvimento do sistema radicular, após o fechamento do dossel, ocorre com mais intensidade no tronco (GONÇALVES et al., 2004)

Leles et al. (1998), estudando *Eucalyptus urophylla* e Ladeira et al. (2001), estudando *Eucalyptus grandis*, encontraram diferença na produção e distribuição de biomassa acima do solo e do sistema radicular, entre espécies de eucalipto, em função do espaçamento de plantio.

Para Schumacher (1996), a manutenção da capacidade produtiva de um sítio, somente se dará, no longo prazo, quando a utilização da biomassa na colheita, bem como as perdas por erosão forem equalizadas de forma eficiente. De acordo com o mesmo autor, para isso, é fundamental quantificar a biomassa produzida e a quantidade de nutrientes que será exportada pela colheita.

A qualidade do sítio, em termos de produtividade, pode provocar alteração na distribuição de biomassa entre os componentes das árvores em função do aumento da alocação de carbono para o sistema radicular (SCHUMACHER et al., 2003)

Reis et al. (1985), em uma sequência de idades de *Eucalyptus grandis*, estimaram a biomassa relativa do sistema radicular, em duas áreas com diferentes níveis de produtividade, em 13,2% e 32%, respectivamente, para a área de maior e

de menor produtividade; enquanto a biomassa de raízes com diâmetro menor do que 3 mm era 2,6 vezes maior no sítio menos produtivo.

Esses valores médios de biomassa total revelam a estreita relação entre a produtividade dos povoamentos e a fertilidade do solo, sendo que, estes números evidenciam o aumento da produtividade do povoamento com a capacidade produtiva do sítio, que também pode ser influenciada pelo espaçamento.

Para a manutenção na fertilidade do solo, é importante o conhecimento da partição da biomassa, bem como a concentração de nutrientes em cada componente das árvores e ainda o nível de utilização da biomassa após a colheita, definindo assim quais são os elementos que precisam de maior atenção para a manutenção produtiva do sistema (GUIMARÃES, 2014).

De acordo com Landsberg (1986), as reservas de nutrientes nas florestas estão presentes nos vários componentes das árvores, no solo e na vegetação de sub-bosque, sendo que, do montante, somente uma pequena fração está em fluxo entre os vários compartimentos do sistema.

Gonçalves et al. (2015) destacam que o gênero *Eucalyptus*, por possuir sistema radicular profundo e bastante desenvolvido, tem a capacidade de explorar de forma mais efetiva, transferindo os elementos das camadas mais profundas do solo para as superiores por meio do processo de ciclagem de nutrientes.

O acúmulo de nutrientes na biomassa arbórea pode ser estimado através da diferença entre absorção total de nutrientes e o retorno para o solo pela morte de raízes, deposição de serapilheira e lixiviação das copas (PRITCHETT, 1990).

A ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais foi dividida em dois ciclos principais, segundo Ramezov (1959): o geoquímico, que envolve os processos de entrada e saída de nutrientes no ecossistema e o biológico, que trata das transferências no interior do ecossistema. Para o último, Switzer e Nelson (1972) propuseram uma divisão em ciclo biogeoquímico, para transferências entre o solo e a planta, e bioquímico, para o processo de translocação dentro da planta.

As entradas de nutrientes podem ser através das deposições atmosféricas, (secas e úmidas), intemperismo geológico, fixação biológica de nitrogênio e fertilização. As saídas incluem a volatilização pelas queimadas ou pela desnitrificação, lixiviação e erosão hídrica, assim como, pela colheita da biomassa (PRITCHETT, 1990).

Quanto aos ciclos bioquímicos, a retranslocação dos nutrientes de tecidos em senescência para regiões na planta com maior atividade metabólica, é uma

importante estratégia para aumentar a eficiência de utilização dos nutrientes com alta mobilidade no tecido vegetal, e reduzir as perdas no processo de deposição da serapilheira (POGGIANI; SCHUMACHER, 2005).

Para Cintra (2004), a quantidade de nutrientes que serão translocados depende da mobilidade do elemento, da espécie vegetal, do estoque de nutrientes no solo e do estágio sucessional no qual a vegetação se encontra. O mesmo autor ressalta ainda que é frequente a incapacidade do solo de manter nutrientes em estoque, disponibilizando-os para a absorção nas raízes quando for necessário.

Larcher (2006) descreve o processo de ciclagem de nutrientes como a retirada de elementos minerais através das raízes, com a manutenção dos mesmos na biomassa, até o momento em que ocorra a deposição da serapilheira e os nutrientes absorvidos retornam ao solo.

No Brasil, a maioria das plantações de eucaliptos estão estabelecidas em solos com pH inferior a 5,5, com saturação de alumínio de até 90% apresentando baixos teores de matéria orgânica, além de teores limitantes de fósforo, nitrogênio e cálcio (VALE, 2004).

Para Barros e Novais (1990), de forma geral as espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam tolerância a altas concentrações de alumínio na solução do solo, à baixa fertilidade dos solos e a níveis de cálcio e magnésio inferiores aos estabelecidos como critérios para grande parte das culturas.

Os mecanismos que possibilitam a tolerância ao alumínio são vários, em sua maioria, de cunho fisiológico. (POSCHENRIEDER et al., 2008).

A tolerância a esta condição possivelmente esta relacionada à baixa exigência nutricional, além da eficiência de utilização de nutrientes por essas árvores, contribuem também, seu profundo sistema radicular (GONÇALVES et al., 2015).

Segundo Pinto Jr. (1978), a nutrição afeta diretamente o balanço entre o crescimento vegetativo e reprodutivo das árvores. O mesmo autor destaca que vários estudos apontam para o aumento da floração através de adubações nitrogenadas, porém, parece não haver indução de florescimento em árvores que anteriormente não floresciam.

2.3.1 Ciclagem de nutrientes

Para Viera e Schumacher (2010), a intensidade em que ocorre a ciclagem de nutrientes, depende do ciclo que os elementos estão sujeitos no ecossistema. A maior parte dos nutrientes absorvidos pelas árvores durante o seu crescimento, retornam ao solo no momento em que ocorre a senescência dos seus componentes, ou ainda, através da deposição de serapilheira.

Segundo Viera e Schumacher (2010), ocorrem variações nas concentrações de nutrientes nos diferentes componentes das árvores.

Para Guo e Sims (2001), a disponibilização dos nutrientes presentes na matéria orgânica somente ocorre após a decomposição da mesma, fenômeno que está sujeito às variáveis do ambiente, principalmente a temperatura, umidade e atividade biológica do solo.

Nas plantações comerciais, a distribuição dos nutrientes nos diferentes componentes da biomassa tem importância na manutenção da produtividade e promoção da sustentabilidade ao longo dos ciclos de cultivo, uma vez que, esses devem ser manejados a fim de melhorar a ciclagem dos nutrientes no sítio (BELOTE; SILVA, 2004).

As maiores concentrações de nutrientes no *Eucalyptus benthamii*, cultivado em São Francisco de Assis – RS estão nos tecidos formadores da copa, como; folhas, frutos e galhos, seguidos pela casca e raízes, sendo a madeira o componente da biomassa com a menor concentração de nutrientes (SOUZA, 2015).

Laclau et al. (2010), estudando *Eucalyptus* no Congo, verificaram que ocorreu absorção de nutrientes pelas raízes em profundidade maior que 5 metros. Em pesquisa realizada no Brasil, Christina et al. (2011) constataram absorção abaixo de 8 metros, reiterando desta forma, a grande capacidade que as árvores possuem de reciclar nutrientes, com pequenas perdas por lixiviação.

Para Viera e Schumacher (2015), a produção de serapilheira, que pode ser caracterizada como a devolução ao solo dos componentes senescentes das árvores, normalmente inicia quando ocorre o fechamento do dossel e acontece a competição por luminosidade. Para os mesmos autores, a quantificação de serapilheira acumulada pode ser feita mensalmente, estacionalmente ou anualmente.

Ao determinar a produção de serapilheira em plantações de *Eucalyptus dunnii*, no bioma Pampa Ludvichack et al. (2016), puderam constatar que o Ca foi o nutriente com o maior acúmulo, totalizando 71,86 kg ha⁻¹, principalmente nas folhas

com 71,74% ou 51,55 kg ha⁻¹, já o N nas folhas, acumulou 33,76 kg ha⁻¹, ou 79,9% do total desse elemento.

Neves (2012), ao estudar a produção de serapilheira em *Eucalyptus dunnii* no planalto catarinense, observou valores de deposição de 6,20; 7,42 e 6,10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com as folhas representando 98, 95 e 91% da serapilheira total, respectivamente.

Cizungu et al. (2014), estudando *Eucalyptus* na região central da África, durante dois anos consecutivos, constataram que a fração de folhas, galhos, material não identificado, miscelâneas, cascas e musgos representam 79%, 9,0%, 6,0%, 5,7% e 0,1% do total de serapilheira acumulada.

Em plantações com híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos quatro anos, no município de Alegrete na região do Pampa, a produção total de serapilheira foi de 8,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. As folhas representaram 50% da deposição total, seguido pelos galhos grossos com 31,2%, galhos finos com 10,3% e 8,3% da fração miscelâneas (CARVALHO, 2014).

2.3.2 Características do solo

Conforme Embrapa (2013), o solo é um recurso natural lentamente renovável, que se encontra em várias posições na paisagem, sendo originário de diferentes alterações em rochas e sedimentos, influenciados por variações climáticas. Dando origem a grande variabilidade pedológica e definindo assim padrões de uso da terra. Os variados sedimentos de origens dos solos atribuíram aos mesmos, diversas concentrações e distribuições nutricionais.

A área do estudo está implantada em Neossolo Quartzarênico Órtico típico, exposto através de processos erosivos e eólicos restando sem qualquer cobertura vegetal. As características físicas do solo implicam na menor fertilidade do mesmo, em função da baixa retenção de cátions e ânions, incorrendo em elevada lixiviação dos nutrientes (Relatório interno StoraEnso, 2008).

Segundo Streck et al. (2008), os Neossolos Quartzarênicos Órticos típicos formam ambientes muito frágeis, que apresentam alto risco de erosão hídrica e eólica, por consequência disso devem ser manejados com extrema atenção e cautela. São solos com declividade suave e pendentes longas, apresentando alto risco erosivo, as estradas devem ser drenadas com retirada da água a cada 70 a 80 metros.

Ainda segundo os mesmos autores acima, os Neossolos Quartzarênicos Órticos típicos, por possuírem elevados teores de areia, apresentam baixa fertilidade natural, além de atingirem rapidamente a situação de deficiência hídrica. Possuem ainda baixos teores de matéria orgânica, implicando em sua baixíssima fertilidade natural.

Conforme Gonçalves et al. (2015), a melhor forma de proteger o solo é mantendo o mesmo com cobertura vegetal. A proteção que o solo recebe esta diretamente ligada à quantidade de biomassa sobre o mesmo, sendo considerada a biomassa aérea, bem como o desenvolvimento do sistema radicular.

Os efeitos na conservação do solo e da água, nas plantações florestais, podem ser feitas através da comparação dos aspectos ecológicos da área do povoamento, com as propriedades vizinhas, que ainda recebem o manejo praticado anteriormente na área da silvicultura (MARTINS et al., 2010).

As plantações florestais em solos arenizados podem trazer contribuições significativas em diferentes aspectos, além de diminuir a exposição do solo aos efeitos causados pelo vento e pelas chuvas, promovem a produção de madeira.

Deve haver uma interação harmônica entre as plantações florestais e o ambiente, onde um conjunto de técnicas e práticas devem ser implementadas para reduzir a exposição do solo e proteger os recursos hídricos (GONÇALVES et al., 2015).

Para a implantação de povoamentos florestais, em solos arenizados, é importante que se tenha o conhecimento detalhado dos atributos químicos e físicos do solo, a fim de traçar estratégias de suprimento desses déficits nutricionais, viabilizando assim, o crescimento das árvores.

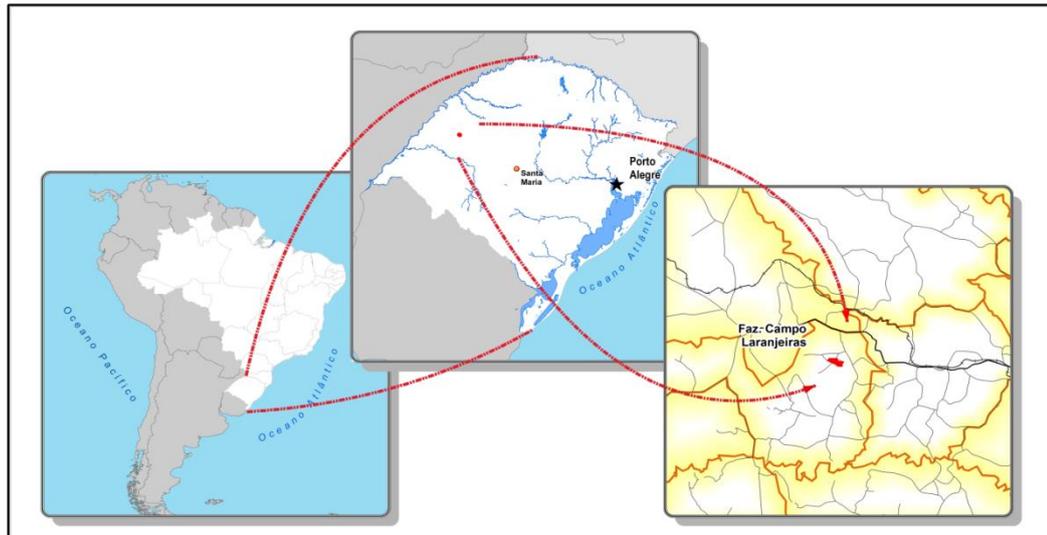
2.4 MATERIAIS E MÉTODOS

2.4.1 Caracterização da área do estudo

O experimento foi conduzido na fazenda Campo Laranjeira, localizada na bacia hidrográfica do Arroio Puitã, no município de Maçambará - RS, pertencente à empresa StoraEnso Florestal, com coordenadas 29° 02' 32.67" S e 55° 19' 40.44" O, em altitude de 191 metros, em relação ao nível médio dos mares (Figura 3).

A fazenda Campo Laranjeira possui atualmente 241 hectares, dos quais, 85 hectares encontram-se expostos pelos processos de arenização, o que corresponde a 35,26% da propriedade.

Figura 3 – Detalhe da localização geográfica do experimento com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS



O município de Maçambará localiza-se no bioma Pampa, na região oeste do estado do Rio Grande do Sul, em extensão territorial ocupa 1.682,820 km². Está inserido em um importante polo regional de produção agropecuária, que é a principal atividade econômica do município de 4.738 habitantes, (IBGE, 2010).

2.4.2 Geologia, relevo e vegetação

A região caracteriza-se geologicamente por derrames basálticos, afloramentos areníticos e grandes aluviões nas planícies fluviais. O relevo é suave e geralmente entre 60 a 120 metros de altitude, ultrapassando 300 metros em coxilhas suaves (IFCRS, 2002).

A vegetação campestre é predominante na região, formando vassourais em alguns locais. Nas margens dos cursos da água ocorrem matas de galerias, pouco desenvolvidas em sua maioria, com aspecto arbustivo. Ao longo de grandes rios e na base dos tabuleiros existem matas latifoliadas e esporadicamente capões no meio dos campos (IFCRS, 2002).

Conforme Deble e Marchiori (2006), nos solos arenosos da região oeste do estado do Rio Grande do Sul, ocorre uma espécie exclusiva de Butiá desprovida de

estipe, que por vezes, forma populações com milhares de exemplares, denominada localmente como Butiá anão, recebe o nome científico de *Butia lallemantii*, homenagem ao médico alemão Robert Avé-Lallemant, que descreveu a ocorrência dessa espécie em sua passagem na região em 1858.

2.4.3 Características climáticas

De acordo a classificação de Köppen o clima no município de Maçambará - RS é do tipo Cfa (subtropical úmido). A precipitação média anual é de 1.628 mm, a temperatura média anual é de 20,7 °C, enquanto a média do mês mais frio é de 15,5 °C e a média do mês mais quente é de 26,3 °C. No inverno ocorrem temperaturas negativas e formação de geadas. Os ventos predominam do Sudoeste no inverno e Nordeste na primavera (MATZENAUER et al., 2011).

A precipitação pluviométrica incidente anual média, no local do estudo, no período entre agosto de 2015 e maio de 2017 foi de 1.922 milímetros, estando acima da média histórica para o município, é importante ressaltar a ocorrência de precipitações torrenciais ao longo do período do estudo, com verões muito chuvosos, resultando em uma média observada mensal, de 160,16 milímetros, com variações significativas entre os volumes acumulados a cada mês. Porém não ocorreu uma estação seca definida.

2.4.4 Estimativa do estoque de nutrientes no solo

Na Tabela 1, são apresentadas as características físicas ao longo do perfil de 200 centímetros de profundidade, sendo constituído em mais de 80% de areia grossa, caracterizando o mesmo como solo arenoso e bastante uniforme. A densidade também apresenta baixa variação ao longo do perfil, porém observa-se que o solo é compactado. A quantidade de argila é menor que 10% até os 40 cm de profundidade, ficando entre 10,0 e 12,0%, nas demais profundidades avaliadas.

O percentual de areia fina variou entre e 1,6 e 5,4%, já para o silte verificou-se variação ao longo do perfil de 1,0 a 6,0%. A menor quantidade de areia grossa foi observada na camada de 120-140 cm, onde 77,6% é areia grossa, nessa camada foi observado o maior percentual de argila com 12,0%.

Tabela 1 – Atributos físicos do solo na área do experimento com *Eucalyptus urophylla* em núcleo arenizado no município de Maçambará – RS

Atributo	Unidade	Profundidades (cm)									
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200
DS*	g cm ⁻³	2,12	2,30	1,87	1,83	1,69	1,78	1,88	1,72	1,55	1,60
AG	%	88,0	88,3	86,0	81,3	82,3	84,0	77,6	81,0	84,0	82,0
AF	%	3,0	3,5	3,0	4,0	1,6	2,7	4,3	5,4	3,3	3,4
Silte	%	1,0	1,6	1,0	3,0	4,7	2,6	6,0	2,3	1,4	3,3
Argila	%	8,0	6,6	10,0	11,6	11,3	10,6	12,0	11,3	11,3	11,3

*DS = Densidade, AG= Areia Grossa, AF= Areia Fina.

Para determinar o estoque de nutrientes no solo, até 200 cm de profundidade bem como a caracterização dos atributos físicos, foram abertas três trincheiras, ao longo da área experimental, anteriormente à implantação do estudo. As amostras foram coletadas em camadas de 20 cm, sendo elas amostradas nas profundidades de 0 - 200 cm.

A estimativa do estoque de nutrientes no solo, nas camadas de 0 - 200 cm, a cada 20 cm de profundidade foi realizada através do produto entre a concentração de nutrientes e a densidade do solo obtida no ponto médio de cada camada. No caso do nitrogênio, como a maioria do elemento total está contida em formas pouco ou não disponíveis (frações húmicas muito estáveis), para efeito de cálculo, será considerado apenas 10% como disponível para as plantas (GONÇALVES et al., 2001).

Na Tabela 2, verificam-se as características químicas do solo na área do estudo com *Eucalyptus urophylla*, em núcleo arenizado no município de Maçambará no Rio Grande do Sul.

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2016) preconiza que o pH ideal para as plantações florestais com *Eucalyptus* ou *Pinus* é de 5,5, recomendando que se faça calagem quando o pH for inferior. A comissão ressalta que as respostas à calagem têm sido atribuídas mais ao suprimento de cálcio e de magnésio ao solo do que à neutralização do alumínio.

O pH médio observado para o solo arenizado na área do estudo foi de 4,64 com baixa variação ao longo do perfil, na camada de 0-20 cm verificou-se pH de 4,83 e na camada de 180-200 cm o pH foi de 4,56.

Tabela 2 – Atributos químicos do solo na área do experimento com *Eucalyptus urophylla* em núcleo arenizado no município de Maçambará – RS

Atributo	Unidade	Profundidades (cm)									
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	120-140	140-160	160-180	180-200
MO*	%	0,20	0,23	0,30	0,26	0,23	0,23	0,20	0,16	0,13	0,10
pH	(1:2,5água)	4,83	4,70	4,60	4,63	4,63	4,60	4,56	4,66	4,66	4,56
Al	cmol _c dm ⁻³	0,66	0,63	0,76	0,76	0,86	0,93	0,86	0,83	0,86	0,96
Ca	cmol _c dm ⁻³	0,16	0,1	0,1	< 0,1	0,16	0,16	0,1	< 0,1	0,1	< 0,1
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
P	mg dm ⁻³	4,63	3,43	2,26	2,93	3,53	4,33	5,03	6,90	7,26	6,90
K	mg dm ⁻³	13,26	12,73	14,83	13,80	14,13	14,03	13,33	14,53	13,53	13,30
CTCef	cmol _c dm ⁻³	0,86	0,73	0,93	0,90	1,06	1,13	1,00	0,96	0,93	1,06
CTCpH7	cmol _c dm ⁻³	2,56	2,93	3,63	3,73	3,80	3,86	3,83	3,66	3,83	3,73
V	%	7,73	4,63	4,60	3,20	4,90	5,06	3,73	2,56	2,90	2,46
m	%	77,20	82,06	81,66	86,96	82,93	82,26	86,13	90,40	88,56	91,26
S	mg dm ⁻³	3,86	10,10	13,90	15,60	15,90	14,36	14,56	7,00	8,90	7,73
B	mg dm ⁻³	0,33	0,30	0,36	0,36	0,30	0,26	0,16	0,16	0,16	0,26
Cu	mg dm ⁻³	0,43	0,40	0,50	0,50	0,60	0,53	0,56	0,46	0,50	0,40
Zn	mg dm ⁻³	0,16	0,13	0,10	0,13	0,13	0,10	0,16	0,10	0,10	0,10

*MO= Matéria orgânica, V= Saturação por bases, m= Saturação por alumínio.

Analisando a Tabela 2, é possível observar, que o solo na área do estudo apresenta baixa fertilidade natural. Assim como a quantidade de matéria orgânica é muito baixa, para todas as profundidades, todos os elementos que possuem importância na nutrição de culturas florestais estão abaixo dos níveis recomendados.

Ao observar a caracterização química e física do solo, de 0 - 200 cm de profundidade verifica-se elevado nível de uniformidade para os atributos analisados, entre as diferentes profundidades. Evidenciando ainda, por se tratar de um solo com baixíssima fertilidade natural, a necessidade de suplementação química, através de adubações, para que seja possível a implantação de povoamentos florestais.

A partir da análise dos atributos físicos e químicos, pode-se observar que existe diferença apenas entre as profundidades para a matéria orgânica, para o fósforo (P) e o enxofre (S), com isto, observa-se elevado nível de homogeneidade no solo. De fato, não pode ser observada nenhuma divisão de horizontes nos primeiros 200 cm de profundidade do perfil, conforme é possível observar na Figura 4.

Figura 4 – Perfil do solo de 0 - 200 centímetros de profundidade, na área do experimento com *Eucalyptus urophylla*, em núcleo arenizado no município de Maçambará – RS



Ao observar a Figura 4, é possível verificar a uniformidade do solo ao longo da trincheira de 200 centímetros de profundidade, não havendo variação no perfil, atribuindo características de solo extremamente arenoso e com elevados níveis de uniformidade. Não foi possível observar atividade biológica ativa no solo, assim como foi ausente à presença de raízes (vivas ou mortas), de qualquer espécie ao longo do perfil.

2.5 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para a implantação do experimento obteve-se o licenciamento ambiental junto à Fundação Estadual de Proteção Ambiental (L.O. FEPAM: 04381/2015-DL). Após foram realizadas as atividades de controle de formigas, nas áreas do entorno do núcleo arenizado, subsolagem leve, plantio e replantio. A subsolagem foi realizada em maio de 2015, no dia do plantio, utilizando subsolador com uma haste, no centro e a 30 cm de profundidade, acoplado em trator agrícola.

O plantio foi realizado de forma manual, utilizando-se mudas clonais de *Eucalyptus urophylla*, (Clone AEC 0144) no espaçamento 3,0 m x 2,0 m. O experimento foi implantado na forma de delineamento inteiramente casualizado (DIC) com cinco tratamentos, contendo três repetições para cada tratamento. Os tratamentos foram denominados de T 1, T 2, T 3, T 4 e T 5. Cada parcela possui 60 m x 30 m, com 300 árvores.

Como os povoamentos florestais estão implantados em variados ambientes, com grandes particularidades, demandam cuidados e manejos específicos para cada local de cultivo, buscando assegurar a sustentabilidade das plantações ao longo dos ciclos.

Para as áreas arenizadas que possuem extrema fragilidade em sua estrutura física, as práticas de manejo devem ser implementadas com o intuito de minimizar ao máximo os possíveis impactos no solo. Buscando a melhoria nas condições do ambiente através da cobertura vegetal fornecida pelas árvores e elevação dos níveis de material orgânico depositado na superfície.

As empresas investiram em pesquisa e selecionaram clones com grande adaptação a diferentes ambientes, o que tem proporcionado ganhos consecutivos na produtividade e otimização dos recursos disponíveis (HIGA; SILVA, 2008).

A escolha do material genético é fator determinante, muitas espécies do gênero *Eucalyptus* são pouco adaptadas a esses ambientes, resultado dessa forma, no insucesso na produtividade de madeira. Na Figura 5, verifica-se povoamento implantado em solo arenizado com material genético pouco adaptado. E na indicação da seta o clone (AEC 0144) de *Eucalyptus urophylla* utilizado para o replantio, que visivelmente possui maior adaptação ao ambiente.

Apesar de ser baixa a aptidão climática sugerida para o *Eucalyptus urophylla* na região do estudo, conforme Flores et al. (2016). Fica evidente ao observar a Figura 5 que alguns genótipos dessa espécie possuem grande plasticidade e capacidade de adaptação nesse ambiente, resultando em crescimento satisfatório para os solos arenizados no bioma Pampa.

Figura 5 – Plantação de *Eucalyptus* em solo arenizado no bioma Pampa



Verifica-se na Figura 5, plantação comercial com clone pouco adaptado, aos 8 anos após o plantio no município de São Borja – RS, na indicação da seta verifica-se o clone (AEC 0144) de *Eucalyptus urophylla*, utilizado no replantio, que visivelmente possui maior interação com o ambiente em solos arenizados nessa região. Observação essa, que determinou a escolha do material genético a ser utilizado nessa pesquisa.

Para a obtenção das variáveis dendrométricas, e quantificação da deposição de serapilheira, considerou-se uma parcela efetiva, com total de 143 árvores, para cada repetição dos diferentes tratamentos, desconsiderando a bordadura dupla em todas as parcelas.

Os tratamentos receberam diferentes fontes e doses de fertilização, com base na expectativa de produção de biomassa. Na Tabela 3, estão demonstradas as quantidades em gramas de fertilizante aplicado por muda, além dos totais efetivos de cada elemento utilizado nos diferentes tratamentos por hectare.

As dosagens com fósforo foram utilizadas na adubação de base. Os tratamentos T 2, T 3, T 4 e T 5, receberam doses crescentes de superfosfato triplo, variando entre 112,5 – 225 kg ha⁻¹. Já o tratamento T 1, foi o único a receber fosfato natural, na adubação de base. Essa adubação foi realizada em dose única, sem parcelamento, para todos os tratamentos.

Os fertilizantes foram utilizados de forma variada entre os tratamentos, as únicas dosagens iguais, foram para o calcário dolomítico, onde todos receberam 2 Mg ha^{-1} , além do mesmo número de mudas por hectare (1666 mudas), e uma fertilização com 150 kg ha^{-1} de K_2O , para todos os tratamentos, na forma de cloreto, no momento da adubação de arranque, 30 dias após o plantio.

Conforme Gonçalves et al. (2015), os fertilizantes devem ser aplicados em sintonia com o ritmo de crescimento, dessa forma, serão rapidamente absorvidos, diminuindo de forma significativa eventuais perdas, além de utilizar o maior potencial de absorção nutricional por parte das árvores.

Tal estratégia foi utilizada no estudo, conforme é possível verificar na Tabela 3, onde se buscou realizar as adubações de forma espaçada, respeitando o tempo de resposta das plantas. Iniciando com a adubação de base no dia da implantação do experimento e estendendo-se até os 420 dias, ou 14 meses após a implantação, com a realização da 5ª adubação de cobertura.

As maiores dosagens de fertilizante foram aplicadas no T 5, em seguida os tratamentos T 4, T 3 e T 2, já o T 1 recebeu as menores doses e fontes. Utilizou-se além do superfosfato triplo e fosfato natural na adubação de base, três formulações de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ na fertilização de arranque e nas coberturas.

Considerando que o estoque de nutrientes no solo é extremamente baixo, e insuficiente para assegurar a necessidade nutricional mínima para o crescimento das árvores, é necessária a suplementação mineral através das adubações. Buscando alcançar a produção de biomassa que torne a silvicultura com *Eucalyptus* uma atividade rentável nos núcleos arenizados do bioma Pampa.

Na Tabela 3 verificam-se as dosagens e espacialidade das fertilizações nos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no município de Maçambará - RS.

Tabela 3 – Descrição dos nutrientes utilizados no experimento com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS

Fertilização	Dias após o plantio	Formulação	Quantidade de fertilizante aplicado (g planta ⁻¹)				
			T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
Base	0	ST*	-	150	200	250	300
Base	0	FN**	250	-	-	-	-
Arranque	30	NPK 06-30-06	60	65	72	85	96
Arranque	30	KCL	165	165	165	165	165
1ª Cobertura	75	NPK 22-00-18	66	72	84	96	108
2ª Cobertura	120	NPK 22-00-18	66	72	84	96	108
2ª Cobertura	120	NPK 10-25-25	-	-	-	-	137
3ª Cobertura	180	NPK 06-30-06	-	66	-	-	-
3ª Cobertura	180	FTE (micro)	-	48	66	84	102
4ª Cobertura	300	NPK 06-30-06	-	30	36	42	48
4ª Cobertura	300	NPK 22-00-18	-	30	36	42	48
4ª Cobertura	300	FTE (micro)	-	30	36	42	48
5ª Cobertura	420	NPK 06-30-06	-	30	36	42	48
5ª Cobertura	420	NPK 22-00-18	-	30	36	42	48
5ª Cobertura	420	FTE (micro)	-	30	36	42	48
Total de Nutrientes			Total de nutrientes aplicados (kg ha ⁻¹)				
		N	54,4	94,0	102,4	118,0	156,4
		P ₂ O ₅	30,0	96,0	72,0	84,0	153,0
		K ₂ O	45,6	80,4	86,4	99,6	169,8
		ST*	-	112,5	149,8	187,2	225,0
		FN**	120,6	-	-	-	-
		Ca	-	12,8	16,3	19,9	24,9
		S	-	10,3	13,1	16,0	20,0
		B	-	3,2	4,1	5,0	6,3
		Cu	-	1,4	1,8	2,2	2,8
		Mn	-	3,6	4,6	5,6	7,0
		Mo	-	0,2	0,2	0,3	0,4
		Zn	-	16,2	20,7	25,2	31,5

*Superfosfato triplo

**Fosfato natural

Verifica-se na Tabela 3, que as adubações foram realizadas durante os 14 meses após a implantação do experimento, buscando as maiores respostas em termos de absorção nutricional por parte das árvores, através do parcelamento das fertilizações.

Todas as adubações foram realizadas de forma manual, em duas covetas laterais, incorporando o fertilizante a uma profundidade de 5 a 10 cm, mantendo distância de 20 cm das mudas. A adubação de base foi realizada logo após o plantio, utilizando-se superfosfato triplo e fosfato natural. Já a adubação de arranque, aconteceu 30 dias após a implantação. As adubações de cobertura foram realizadas em cinco etapas, sendo elas; 75, 120, 180, 300 e 420 dias após o plantio, respectivamente.

O tratamento T 1, recebeu apenas a adubação de base com fosfato natural, além das duas adubações de cobertura, aos 75 e 120 dias após a implantação, não recebendo as adubações com micronutrientes, e as coberturas adicionais que os demais tratamentos receberam.

O composto FTE BR, foi utilizado com o objetivo de suprir a demanda por micronutrientes, além de ser mais uma fonte de cálcio. O produto é constituído por sete elementos com as seguintes proporções: Cálcio (Ca) 7,1%, Enxofre (S) 5,7%, Boro (B) 1,8%, Cobre (Cu) 0,8%, Manganês (Mn) 2,0%, Molibdênio (Mo) 0,1% e Zinco (Zn) 9,0%.

Figura 6 – Aspecto geral do experimento com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, em maio de 2015, após a implantação



Na Figura 6 é possível observar o aspecto geral do experimento, logo após a implantação, em maio de 2015. As linhas da subsolagem foram escarificadas no sentido contrário à declividade natural do terreno, objetivando minimizar os riscos com processos erosivos.

Também é possível verificar que o solo encontrava-se absolutamente exposto e sem qualquer cobertura vegetal, dessa forma, as atividades de controle de mato-competição, por exemplo, são desnecessárias para a silvicultura nos núcleos arenizados.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEFLOR . Associação Gaúcha de Empresas Florestais. **A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul**, anuário estatístico, ano base 2015. Curitiba, 2016, p 92.

_____. **A indústria de base florestal no Rio Grande do Sul**, anuário estatístico, ano base 2016. Rio Grande do Sul, 2017, p 64.

ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do Eucalipto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2. ed. 2009. 500 p.

ANDRADE, E. N. **O Eucalipto**. 2. ed. Edição comemorativa da 2ª conferência mundial do Eucalipto. São Paulo, 1961.

AVILA, A. L. et al. Regeneração natural em um sob bosque de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., Santa Maria. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 2, p. 696-698, 2007.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V. V. H. et al. eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Folha de Viçosa, 2002.

BARROS, N. F. et al. Nutrição e Adubação Mineral do Eucalipto. In: VALE, A. B. et al. **Eucaliptocultura no Brasil**, Silvicultura, Manejo e Ambiente. Cap. IX Viçosa, 2013.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil. In: ATTI-WILL, P. M.; ADAMS, M. A. (Eds.). **Nutrition of the Eucalypt**. Collingwood: CSIRO. 1995 p. 335-356.

_____. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação Solo Eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 127- 181.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA H. D. Sampling techniques and nutritional evaluations in eucalypt plantations. In: GONCALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Forestry nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 113-140.

BERTÊ, A. M. A. Problemas ambientais no Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. p. 61-70.

CARVALHO, R. R. **Biomassa e nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil**. 2014. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CHRISTINA, M. et al. Almost symmetrical vertical growth rates above and below ground in one of the world's most productive forests. **Ecosphere**, v. 2, n. 3, 2011. Disponível em: <http://www.esajournals.org/doi/pdf/10.1890/ES10-00158>. Acesso em 01 ago. 2016.

CINTRA, A. T. F. **Entradas atmosféricas de nutrientes e poluentes em um ecossistema florestal urbano, Maciço da Pedra Branca – RJ. Rio de Janeiro**. 2004. 70 p. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

CIZUNGU, L. et al. Litterfall and leaf litter decomposition in a Central African tropical montain forest and eucalyptus plantation. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 326, p. 109-116, jan. 2014.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO RS/SC. **Manual de Adubação e Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11. ed. 2016. 376 p.

DEBLE, L. P.; MARCHIORI, J. N. C. *Butia lallamantii*, uma nova arecaceae do Brasil, **Balduínia**, Santa Maria, n. 9, p. 1-3, 2006.

EMBRAPA. Santos, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 353 p. 2013.

FLORES, T. B. et al. ***Eucalyptus* no Brasil: Zoneamento climático e guia para identificação**. Piracicaba: IPEF, 2016. 448 p.

FONSECA, S. M. et al. **Manual Prático de Melhoramento Genético do Eucalipto**. Viçosa: Ed. UFV, 200 p. 2010.

GONÇALVES, J. L. M. et al. An evaluation of minimum and intensive soil preparation regarding fertility and tree nutrition. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004.

_____. Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, v. 70, p. 105-118, 2008.

_____. Caracterização edafoclimática em manejo de solos com plantações de eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. Cap. IX. Editora da UFSM. Santa Maria, 2015.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Fertilização de Plantações de Eucalipto, In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2. 2011. Campinas. **Anais...** Piracicaba/IPEF/ESALQ, 2011 p. 85-113.

_____. Integration genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam. v. 301, p. 6-23, ago, 2013.

_____. The root system of trees In: GONÇALVES, J. L. M. et. al. **Forest Nutrition and Fertilization**. Translated by Ken McNabb. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 223-267.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25, n. 3, 2001, p. 601-616.

GONÇALVES, J. L. M.; VAN RAIJ, B.; GONÇALVES, J. C. **Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, Fundação IAC, 1996. 259 p.

GUIMARÃES, C. C. **Biomassa e Nutrientes em Plantios de Eucaliptos no Bioma Pampa**. 2014. 63 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GUNN, B. V.; McDONALD, B. W. **Recolección de semillas de *Eucalyptus uruphylla***. 1991. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/006>. Acesso em: 19 set. 2016.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand I. internal effects. **Soil biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 33, n. 10, p. 1381-1388, 2001.

HIGA, A. R.; SILVA, L. D. Situação atual e perspectivas do melhoramento genético de Pinus e Eucaliptos no Brasil. Encontro Brasileiro de silvicultura. 2008, Curitiba. **Anais...** Piracicaba: PTSM/IPEF/ESALQ, 2008. p 105-115.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Dados e Estatística do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2014**. 2015. Disponível em: <http://www.iba.org.br/pt>. Acesso em: 25 ago 2016.

_____. **Dados e Estatística do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2016**. 2017, 80 p. Disponível em: <http://www.iba.org.br/pt>. Acesso em: 20 set 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base de Imagens, **Biomassas no estado do Rio Grande do Sul**, Brasília, Distrito Federal. 2004.

_____. **Censo 2010**, Brasília, Distrito Federal. 2010.

IFCRS. RIO GRANDE DO SUL. Governo do Estado. Secretaria Estadual do Meio Ambiente, **Inventário Florestal Contínuo do RS**, 2002. Disponível em: <http://coralx.ufsm.br/ifcrs>. Acesso em: 29 ago 2016

LACLAU, J. P. et al. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 9, p. 1771-1785, 2010.

_____. Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth, In: *Eucalyptus* plantations. **Tree Physiology**, v. 29, p. 111-124, 2009.

_____. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in Eucalyptus plantations established on a Sandy tropical soil. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 2148-2159, 2010.

LADEIRA, B. C. et al. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma sequência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 69-78, 2001.

LANDSBERG, J. J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, 1986.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima, 2006. 531p.

LELES, P. S. S. et al. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, 1998.

LEITE, F. P. et al. Alterations of soil chemical properties by eucalyptus cultivation in five region in the Rio Doce Valley. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, p. 821-831, 2010.

LIMA, W. P. **A silvicultura e a água: ciência, dogmas, desafios**. Rio de Janeiro: Instituto Bio Atlântica, 2010. 64 p.

LUDVICHAK, A. A. et al. Nutrient return through litterfall in a *Eucalyptus dunnii* Maiden stand in sandy soil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, p. 1051-1058, 2016.

MARTINS, S. G. et al. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed in Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p.999-1004, 2010.

MATZENAUER, R. et al. **Atlas Climático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. Secretária de Agricultura, Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da Biodiversidade Brasileira**. Brasília: MMA/SBF, 2007. 328 p.

- NEVES, C. U. **Ciclagem de nutrientes em plantios de *Eucalyptus dunnii* com idade de 1, 2 e 3 anos no Planalto sul Catarinense**. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.
- NIETO, V. M.; RODRIGUEZ, J. *Eucalyptus urophylla* Dehnh. In VOZZO, J. A. **Tropical Tree Seed Manual**. Washington, D. C.: USDA Forest Service, 2003, v. 2 473 p.
- PÁSZTOR, Y. P. C. et al. Teste internacional de procedências de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo. v. 2 n. 2, p. 207-214, 1990.
- PINTO Jr., J. E. **Problemas relacionados com o florescimento e produção de sementes em espécies florestais**. Piracicaba, ESALQ/DS, 1978.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba, SP: IPEF, p. 287-308. 2005.
- POSCHENRIEDER, C. et al. **A glance into aluminum toxicity and resistance in plants**. **Science of the total environment**, v. 400, n. 1-3, p. 356-368, ago. 2008.
- PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedad, conservación y mejoramiento**. México: Limusa Noriega, 1990.
- RAMEZOV, N. P. **The method of studying the biological cycle of elements in forests**. Pochvovedenic, 1959.
- REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma seqüência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 149-162, 1985.
- ROBAINA, L. E. S. et al. Compartimentação Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Ibicuí, Rio Grande do Sul, Brasil: Proposta de Classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, v. 11, n. 2, p. 11-23, 2010.
- SCARPINELLA, G. D. A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. 2002. 182 p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- SCHERER, C. M. S.; LAVINA, E. L. **Sedimentary cycles and facies architecture of aeolian-fluvial strata of the Upper Jurassic Guarú Formation, southern Brazil**. **Sedimentology**, v. 32, p. 1323-1341, 2005.
- 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, 1 ed. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, UFSM/CEPEF, 1996, p. 65-77.

SCHUMACHER, M. V. et al. **Quantificação do carbono e dos nutrientes em florestas de eucalipto de diferentes idades**. Santa Maria: UFSM/FATECIENS, Departamento de Ciências Florestais, (Relatório Técnico), 2003.

SILVA, M. A. **Modelagem espacial da erosão hídrica no Vale do Rio Doce, região centro leste do estado de Minas Gerais**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOUTO, J. J. **Deserto uma ameaça?** Porto Alegre, RS, Secretaria de Agricultura. 169 p. 1984.

SOUZA, H. P. **Caracterização nutricional do *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage em área de produção de sementes**. 2015. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SOUZA, A. C.; PIRES, C. A. F., Dinâmica da arenização na bacia hidrográfica do Arroio Puitã, oeste do RS, através do mapeamento multitemporal no período de 1984 a 2014. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo. v. 18, nº 1, p. 185-196, 2017.

StoraEnso Florestal RS, **Mapeamento de Solos no Projeto Florestal do RS**, Pedon Consultoria, 2008. Não publicado.

_____. Relatório técnico, **Monitoramento da Fauna Silvestre no Projeto Florestal do RS**, Deprá Consultoria, 2016. Não publicado.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N. et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater, 2008.

SUERTEGARAY, D. M. A. **A Trajetória da Natureza: um estudo geomorfológico sobre os areais de Quarai – RS**. 1987. 243 p. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Deserto Grande do Sul: Controvérsia**. 2. ed. Editora da universidade. Porto Alegre, RS. p.109. 1998.

_____. **Rio Grande do Sul descobre os seus desertos**. Ciência e Ambiente, Santa Maria, RS, v. 11, p.32-52, 1995.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. **Soil Science Society of America**, Madison, v. 36, 1972.

VALE, R. S. do. **Agrossilvicultura com eucalipto como alternativa para o desenvolvimento sustentável da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2004. 101 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Deposição de serapilheira e de macro nutrientes em um povoamento de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* de wild.) No Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, p. 225-233, abr./jun. 2010.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e Exportação de Nutrientes pela Colheita do Eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil.** editora da UFSM. Santa Maria, 2015.

3 ENTRADA DE NUTRIENTES PELA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA INCIDENTE E PRODUÇÃO DE SERAPILHEIRA

Resumo

A entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica incidente e através da produção de serapilheira são processos biogeoquímicos, importantes na manutenção da produtividade em plantações com eucaliptos. Este trabalho teve como objetivo avaliar aspectos da ciclagem biogeoquímica de nutrientes através da precipitação pluviométrica incidente e deposição de serapilheira em um experimento com *Eucalyptus urophylla*, estabelecido em solo arenizado no bioma Pampa, no município de Maçambará – RS. A área do estudo pertence à empresa StoraEnso Florestal. Quinzenalmente foram coletadas amostras e quantificada a precipitação pluviométrica incidente, e mensalmente as deposições de serapilheira em três coletores instalados em cada parcela do experimento. Analisou-se a quantidade e a concentração dos cátions e ânions contidos na água oriunda da precipitação. A precipitação pluviométrica incidente anual média foi de 1.922 milímetros. A maior concentração foi observada para o Ca e N com $1,08 \text{ mg L}^{-1}$, e a menor para o P com $0,01 \text{ mg L}^{-1}$. A maior quantidade foi observada para o Cl com $7,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, seguido pelo Ca com $7,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e a menor quantidade foi determinada para o P com $0,06 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Para determinar a produção de serapilheira, utilizou-se 45 coletores, sendo três em cada parcela, entre os meses de abril de 2016 e abril de 2017, período correspondente, aos 12 e 24 meses após o plantio. A deposição de serapilheira apresentou variação entre os diferentes tratamentos avaliados, sendo que no T 5 observou-se o maior acúmulo, com $1.406,58 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, seguido pelo T 3 com $1.145,33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na sequência o T 4 com $1.127,13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, depois o T 2 com $1.047,24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a menor deposição observada para o T 1 com $544,54 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Palavras-chave: Nutrição florestal. Matéria orgânica. Sustentabilidade.

Abstract

The input of nutrients via incident rainfall and through litter production are biogeochemical processes, important in maintaining productivity in plantations with *Eucalyptus*. The objective of this work was to evaluate aspects of biogeochemical cycling of nutrients through incident rainfall and litter deposition in an experiment with *Eucalyptus urophylla*, established in sandstone in the Pampa biome, municipality of Maçambará - RS. The study area belonging to StoraEnso Florestal. Fortnightly samples were collected and the precipitation precipitated, and the litter deposition was collected monthly in three collectors installed in each plot of the experiment. The amount and concentration of the cations and anions contained in the precipitation water were analyzed. The mean annual rainfall precipitation was 1922 mm. The highest concentration was observed for Ca and N with 1.08 mg L^{-1} , already the lowest concentration for P with 0.01 mg L^{-1} . The highest amount was observed for Cl with $7.46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, followed by Ca with $7.02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, the lowest amount was determined for P with $0.06 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$. For accumulated litter production, 45 collectors were used, three in each plot. Between April 2016 and April 2017, corresponding period, between 12 and 24 months. The T 5 showed the highest deposition, with $1406.58 \text{ kg ha}^{-1}$, followed by T 3 with $1145.33 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ of litter deposition, in sequence T 4 with $1127.13 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, followed by T 2 with $1047.24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and the lowest deposition observed in the period was for the T 1 with $544.54 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$.

Keywords: Forest nutrition, organic matter, sustainability.

3.1 INTRODUÇÃO

A precipitação pluviométrica é capaz de indicar o potencial produtivo de povoamentos florestais em uma determinada região, além de ser fonte de entrada de nutrientes para o ambiente.

Para Schrumpf et al. (2006), a intemperização dos minerais primários pode ser considerada a maior fonte de formação dos nutrientes nos ecossistemas. Porém

em algumas situações de solo, o fluxo de nutrientes, via deposição atmosférica, passa a ser importante fonte de entrada dos elementos.

Conforme Likens et al. (1977), os nutrientes em suspensão na atmosfera encontram-se na forma de aerossóis, gases, poeiras, spray marinhos, emissões vulcânicas entre outras.

A ciclagem de nutrientes em um sistema florestal consiste na circulação dos nutrientes, entre os diferentes componentes formadores do ecossistema, ou ainda, na troca de elementos químicos entre os seres vivos (LACLAU et al., 2010).

Para Viera e Schumacher (2015), a produção de serapilheira em plantações de *Eucalyptus* é a principal fonte de material orgânico para o processo de ciclagem de nutrientes. Essa produção é intensificada após o fechamento do dossel.

Carvalho (2014) estimou a produção de $8,1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de serapilheira para o híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos quatro anos, no município de Alegrete- RS, região do bioma Pampa.

Lopes et al. (2013) destacam ainda que a serapilheira possui a capacidade de estocar água em seus tecidos, exercendo a função de uma esponja e filtro, que se encharca após a precipitação e inicia uma liberação lenta da água acumulada para o solo, contribui desse modo, no processo de infiltração da água no solo.

De acordo com Perez-Marin e Menezes (2008), o retorno dos nutrientes através da precipitação pluviométrica representa um processo de extrema importância para a ciclagem biogeoquímica dos nutrientes, especialmente para as condições onde a fertilidade natural do solo é baixa e dependente da fertilização.

A água da chuva ao passar pelo dossel do povoamento arrasta grandes quantidades de partículas e aerossóis atmosféricos depositados na superfície dos tecidos formadores da copa (MARTINS et al., 2013).

Conforme Ashagrie e Zech (2010), o balanço hídrico exerce grande influência no fluxo de nutrientes e na produtividade do ecossistema. A água pode ser considerada um recurso natural limitante na produtividade e primordial na condução da maioria dos fluxos de nutrientes.

Nas regiões tropicais, as plantações são normalmente estabelecidas em solos de baixa fertilidade, onde pode ocorrer elevada exportação de nutrientes, através da colheita da biomassa no final da rotação (ASHAGRIE; ZECH, 2010).

A serapilheira contribui de forma significativa para a cobertura dos solos arenizados, formando uma camada protetora contra os ventos e as chuvas, e elevando os níveis de material orgânico na superfície.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Precipitação pluviométrica incidente

Para quantificar e analisar a precipitação pluviométrica incidente (P) utilizou-se seis coletores, instalados na área do experimento com *Eucalyptus urophylla*, sendo três coletores para a quantificação da precipitação, com diâmetro de captação de 20 cm, e três coletores para análise da composição química, com diâmetro de captação de 15 cm. Os mesmos foram instalados a uma distância de 1,0 m entre si, a uma altura de 1,50 m acima do nível do solo. Como é possível observar na (Figura 7).

Figura 7 – Coletores de precipitação pluviométrica incidente, na área com *Eucalyptus urophylla*, no município de Maçambará – RS



O período de amostragem ocorreu entre agosto de 2015 e maio de 2017, sendo que as coletas foram realizadas quinzenalmente. Eventualmente realizaram-se coletas extras entre as quinzenas, devido à ocorrência de precipitações torrenciais. As amostras coletadas foram armazenadas em recipientes devidamente identificadas após cada coleta e os coletores foram lavados com água deionizada. Posteriormente, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de Ecologia

Florestal da Universidade Federal de Santa Maria para a realização das análises químicas.

3.2.2 Quantificação da serapilheira

Para estimar a deposição de serapilheira, em cada uma das parcelas dos diferentes tratamentos, foram distribuídos sistematicamente três coletores, alocados em diferentes posições: um na linha de plantio, outro na entrelinha de plantio e o terceiro, na diagonal à linha de plantio, entre quatro árvores.

Os coletores foram confeccionados com madeira de eucalipto, com $0,49 \text{ m}^2$, (0,70 cm x 0,70 cm) de área específica de coleta, com fundo em tela de nylon (1 mm), instalados a 30 cm de altura em relação ao nível do solo (Figura 8). As coletas foram realizadas mensalmente.

Figura 8 – Coletor de serapilheira, aos 24 meses, na área do experimento com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado, no município de Maçambará – RS



Ao observar a Figura 7, verifica-se a presença do coletor de serapilheira na posição entre linhas, aos 24 meses, sendo possível também verificar o acúmulo de material senescente na superfície do solo, contribuindo com a cobertura e

manutenção dos níveis de umidade da superfície, além de estimular o início da atividade biológica com a decomposição do material orgânico depositado.

Tal observação visual já pode evidenciar a ocorrência do processo de ciclagem biogeoquímica no povoamento, alterando de maneira positiva o ambiente em que o experimento se encontra. Protegendo o solo dos impactos causados pela exposição aos ventos e a chuva. Contribuindo ainda com a melhoria das características químicas e físicas do solo ao longo dos anos.

Após cada coleta, o material foi acondicionado em embalagens devidamente identificadas, enviado para o Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

No laboratório, as amostras foram separadas em frações: folhas, miscelânea e galhos finos (diâmetro < 0,51cm). Em seguida, os mesmos foram colocados em sacos de papel pardo e postos para secagem, em estufa de circulação e renovação de ar, a uma temperatura de 70 °C, até atingir peso constante. Foi determinada a massa seca com balança de precisão (0,01g). Após o término das pesagens, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Willey, com peneira de 30 *mesh*, para posterior análise de nutrientes.

A partir dos dados provenientes de cada coleta mensal, foi estimada a quantidade média da deposição de serapilheira. A estimativa de produção de serapilheira anual, (PS_j , $Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) foi baseada na expressão sugerida por Lopes, Domingos e Struffaldi de Vuono (2002), e modificada para este estudo:

$$PS_j = \left(\frac{10.000}{AC} \right) \sum_{ij} PMS_{ij}, \quad \begin{cases} i=1, 2, \dots, 12 \text{ meses} \\ j=1, 2, 3, 4 \text{ anos} \end{cases}$$

Onde:

AC = Área do coletor (m^2);

PMS_{ij} = Produção de serapilheira no mês i do ano j .

3.2.3 Análises de íons

Todas as amostras de água tiveram determinação do pH, com auxílio do pHmetro contendo eletrodo de vidro (Metrohm 827 pH LAB), com posterior filtragem, com filtro de poros de 0,45 μm para determinação dos íons $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $P-PO_4^-$, $S-SO_4^-$, Cl^- , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , através de cromatografia iônica (Metrohm

861 Advanced Compac IC), todos segundo a metodologia proposta por APHA (1998).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

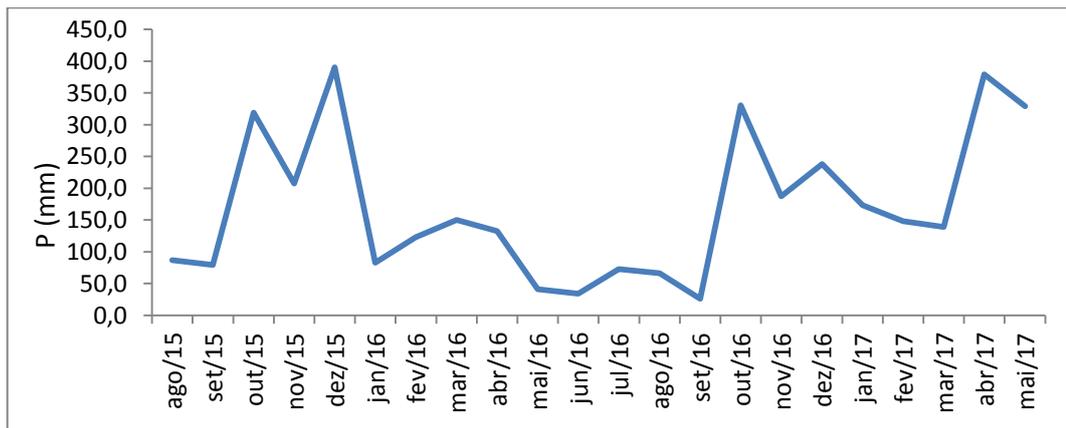
3.3.1 Precipitação pluviométrica

Entre os meses de agosto de 2015 e maio de 2017, foram registrados 3737,89 milímetros. O volume da precipitação pluviométrica incidente foi bastante variado, tendo dezembro de 2015 o maior volume acumulado, com 390,34 milímetros e maio de 2016, com o menor volume, com 23,18 milímetros, não havendo uma estação seca definida na região. A precipitação pluviométrica incidente anual média foi de 1.922 milímetros.

A precipitação média anual para Maçambará – RS é de 1.628 milímetros (MATZENAUER et al. 2011). No local e período do estudo, a precipitação média anual observada foi superior à média histórica do município.

Na Figura 9 verifica-se a distribuição da precipitação pluviométrica incidente (P) ao longo dos anos e meses de monitoramento.

Figura 9 – Distribuição da precipitação pluviométrica incidente na área do estudo com *Eucalyptus urophylla*, no município de Maçambará – RS



Para os solos arenosos, que possuem baixa capacidade de retenção hídrica, é importante que exista boa distribuição das chuvas ao longo do ano, não submetendo o povoamento ao estresse hídrico. A água pode ser considerada um insumo produtivo determinante para o crescimento de plantações florestais, sendo

referência para a recomendação das espécies ou clones, e épocas mais adequadas para a implantação, além de indicar um potencial produtivo para o sítio.

3.3.1.1 Características químicas da precipitação

Na Tabela 4 verificam-se os valores médios mensais das concentrações dos principais íons presentes na solução da precipitação pluviométrica incidente na área com *Eucalyptus urophylla* no município de Maçambará – RS.

O pH médio da solução da precipitação pluviométrica foi de 5,75 com variações de grandeza no período do estudo entre 6,51 em setembro de 2016 e 4,98 em outubro do mesmo ano.

Tabela 4 – Concentração média (mg L^{-1}) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica incidente no experimento com *Eucalyptus urophylla* no município de Maçambará – RS

Mês	mg L^{-1}							
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Na
Jan	0,17	0,02	0,18	0,38	0,01	0,08	0,33	0,21
Fev	0,23	0,01	0,36	0,25	0,00	0,07	0,50	0,31
Mar	0,15	0,01	0,38	0,21	0,00	0,07	0,58	0,49
Abr	0,14	0,00	0,20	0,30	0,01	0,09	0,38	0,14
Mai	0,21	0,00	0,21	0,38	0,03	0,12	0,47	0,16
Jun	0,31	0,00	0,19	0,44	0,00	0,15	0,63	0,22
Jul	0,67	0,00	0,17	0,39	0,02	0,22	0,43	0,19
Ago	0,80	0,01	0,32	1,01	0,06	0,41	0,72	0,41
Set	1,08	0,00	0,26	1,08	0,09	0,43	0,63	0,33
Out	0,30	0,00	0,03	0,42	0,01	0,15	0,25	0,18
Nov	0,32	0,00	0,06	0,28	0,00	0,13	0,29	0,20
Dez	0,19	0,00	0,39	0,29	0,00	0,09	0,51	0,18

Verifica-se na Tabela 4 que a menor concentração foi observada para o P com $0,01 \text{ mg L}^{-1}$, sendo que em alguns meses sequer foi detectado nas amostras. Já a maior concentração foi observada para o N e Ca com $1,08 \text{ mg L}^{-1}$. A concentração média observada para Mg também foi baixa, com $0,02 \text{ mg L}^{-1}$.

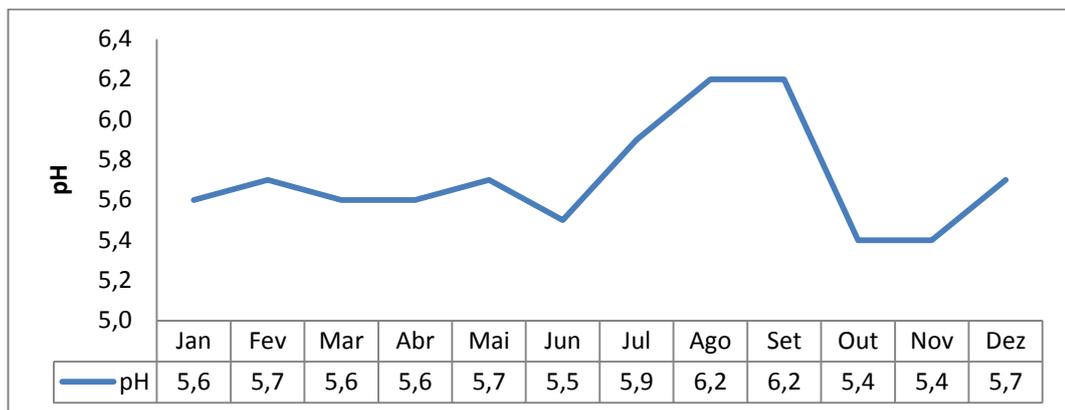
Conforme Silva (2014), a concentração dos íons na solução da precipitação pluviométrica em Alegrete – RS, foi de $0,67 \text{ mg L}^{-1}$ para o Ca. No mesmo estudo a concentração do P foi de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$, para o K a determinação foi de $0,29 \text{ mg L}^{-1}$.

Corrêa (2011), ao avaliar a concentração da precipitação pluviométrica em uma plantação de *Eucalyptus dunnii* no bioma Pampa, encontrou teores de Ca de $0,48 \text{ mg L}^{-1}$.

Em determinação da concentração dos íons presentes na precipitação pluviométrica em campo nativo no município de Candiota – RS, a concentração média para o K de $1,07 \text{ mg L}^{-1}$ (CALIL, 2008).

Na Figura 10, verificam-se os valores médios do pH para os diferentes meses avaliados. É possível verificar que os valores são bastante homogêneos, variando entre 5,4 e 6,2.

Figura 10 – Valores médios do pH na precipitação pluviométrica incidente na área com *Eucalyptus urophylla* no município de Maçambará – RS



Verifica-se na Tabela 5, que a quantidade média total de nutrientes que chegou ao solo via precipitação pluviométrica incidente durante o período do estudo, foi de $30,65 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A maior entrada foi observada para o Cl com $7,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, seguido pelo Ca com $7,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Já as menores quantidades foram determinadas para P com $0,06 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e Mg com $0,27 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

O N que chegou ao solo através da precipitação pluviométrica representou 17,55% do total de nutrientes, com $5,38 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, esse aporte de nitrogênio é de extrema importância para a nutrição florestal nos solos arenizados que possuem teores de matéria orgânica baixíssimos.

Tabela 5 – Quantidade média (kg ha^{-1}) dos íons presentes na solução da precipitação pluviométrica incidente no experimento com *Eucalyptus urophylla* no município de Maçambará – RS

Mês	kg ha^{-1}							
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cl	Na
Jan	0,37	0,03	0,30	0,78	0,01	0,14	0,40	0,34
Fev	0,34	0,01	0,46	0,34	0,00	0,09	0,66	0,43
Mar	0,22	0,01	0,54	0,31	0,00	0,10	0,82	0,69
Abr	0,37	0,00	0,35	0,56	0,05	0,21	0,91	0,33
Mai	0,24	0,00	0,11	0,62	0,11	0,18	0,53	0,20
Jun	0,05	0,00	0,03	0,08	0,00	0,03	0,11	0,04
Jul	0,72	0,00	0,18	0,41	0,02	0,23	0,46	0,20
Ago	0,58	0,01	0,22	0,78	0,04	0,31	0,52	0,32
Set	0,57	0,00	0,13	0,54	0,02	0,23	0,29	0,18
Out	0,99	0,00	0,11	1,35	0,02	0,49	0,83	0,60
Nov	0,61	0,00	0,12	0,57	0,00	0,36	0,57	0,39
Dez	0,32	0,00	1,23	0,68	0,00	0,19	1,36	0,40
Média	0,45	0,00	0,32	0,59	0,02	0,21	0,62	0,34
Total	5,38	0,06	3,78	7,02	0,27	2,56	7,46	4,12
%	17,55	0,19	12,33	22,91	0,88	8,35	24,35	13,44

Os nutrientes que chegam ao ambiente através da precipitação pluviométrica são de grande importância, especialmente nos solos com baixa fertilidade natural, como são os núcleos arenizados. O Cl representou 24,35% dos nutrientes aportados, já o Ca foi responsável por 22,91%, elementos como o P e Mg representaram menos de 1% do total de nutrientes.

Silva (2014), ao estudar a entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica em Alegrete – RS, determinou a entrada de $20,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de elementos que chegaram ao solo. As maiores entradas foram observadas para de S com $6,50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, seguido pelo Ca $5,58 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, Cl com $3,17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o K com $2,51 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Conforme Corrêa (2011), que estudou a entrada de nutrientes via precipitação pluviométrica incidente em Alegrete – RS, a maior entrada foi observada para K com $8,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, seguido pelo Ca com $5,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, N com $5,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, S com $2,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o Mg com $2,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a menor entrada foi de P com $0,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Laclau et al. (2010) avaliando a ciclagem de nutrientes em plantações de *Eucalyptus* no Brasil, encontraram ao final da rotação, um aporte médio anual de N de $3,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para o K de $7,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o Ca com $6,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, Mg com $2,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e Cl $12,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na precipitação pluviométrica. Os

valores observados para Ca são bastante semelhantes aos encontrados nesse estudo.

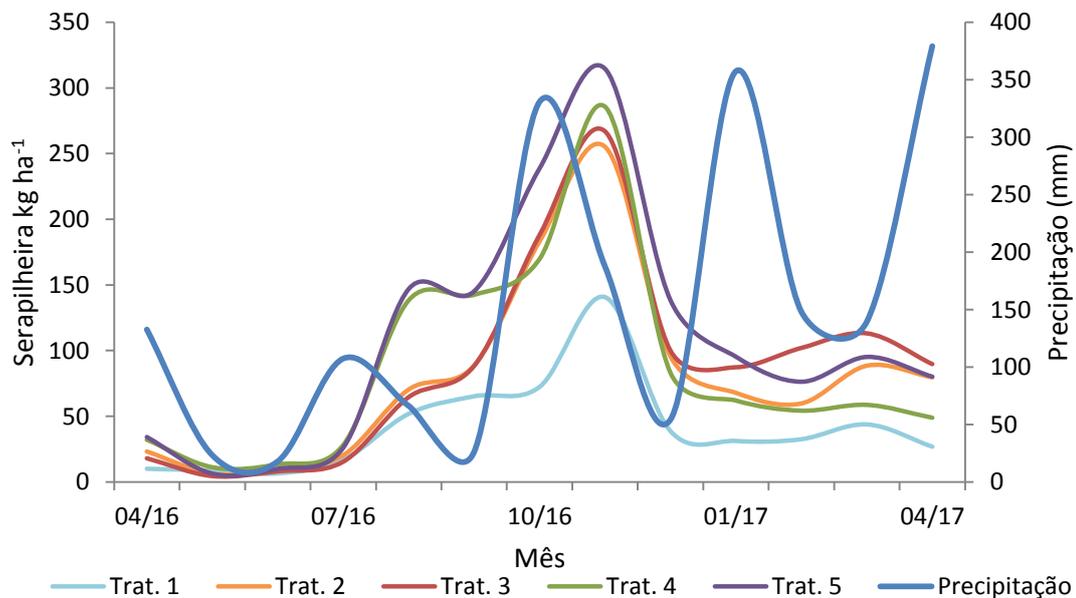
Esses nutrientes, em conjunto com a precipitação pluviométrica, representam um insumo importante para o crescimento e manutenção da produtividade dos povoamentos florestais com eucaliptos nos solos arenizados. Por isto, devem os mesmos, serem considerados no aporte anual e balanço nutricional das plantações florestais.

3.3.2 Deposição de serapilheira

Na Figura 11 verifica-se a sazonalidade da deposição de serapilheira nos diferentes tratamentos.

O período de coleta da serapilheira se deu entre os 12 e 24 meses após a implantação. Nos meses iniciais da coleta apenas foi possível identificar a fração folhas nos coletores, sendo as frações galhos e miscelâneas insignificantes.

Figura 11 – Deposição da serapilheira e precipitação pluviométrica entre os meses de abril de 2016 e abril de 2017 no experimento com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS



Ao analisar a Figura 11, verifica-se que existe alto nível de similaridade na deposição de serapilheira entre os diferentes tratamentos, onde todos apresentam a

mesma tendência de deposição, com um pico no mês de novembro. A tendência de redução no volume depositado também foi observada para todos os tratamentos. Os baixos volumes observados no início da avaliação estão relacionados à idade do povoamento.

A precipitação pluviométrica incidente anual média foi de 1.922 milímetros, com uma média mensal para o período de 160,16 milímetros, a maior precipitação foi observada em dezembro de 2015, onde choveram 390,34 milímetros, o menor volume de precipitação foi observado para o mês de maio de 2016, com 23,18 milímetros. Apesar de apresentar irregularidade nos volumes precipitados, não existe uma estação seca definida para a região.

A regularidade e volume da precipitação pluviométrica são fatores determinantes para o estabelecimento e crescimento das plantações florestais em solos arenizados, que possuem baixa capacidade de retenção da água, submetendo com facilidade o povoamento ao estresse hídrico com a falta de chuva.

Conforme Corrêa (2011), um povoamento de *Eucalyptus dunnii*, na região do bioma Pampa, aos 27 meses, produziu 4,1 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de serapilheira, sendo que as folhas representam mais de 93% do total produzido.

A maior quantidade de serapilheira depositada em um mês foi observada em novembro de 2016, para todos os tratamentos, onde o T 5 obteve a maior deposição com 314,51 kg ha⁻¹, já a menor deposição para esse mês foi para o T 1 com 140,66 kg ha⁻¹. A menor quantidade depositada para todos os tratamentos foi observada em maio de 2016, onde o maior acúmulo se deu no T 4 com 11,12 kg ha⁻¹, já a menor deposição nesse mês foi observada para o T 3 com apenas 4,49 kg ha⁻¹.

Segundo Silva (2014), a produção média de serapilheira observada para o *Eucalyptus dunnii*, aos 48 meses, na região do Pampa gaúcho, foi de 6,99 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, onde 66,75% era constituído pelas folhas.

Plantações de *Eucalyptus dunnii*, aos 24 meses, no estado de Santa Catarina, apresentaram deposição média de serapilheira de 7,42 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, onde desse total, mais de 95% eram folhas (NEVES, 2012).

Para Cunha et al. (2005), a produção de serapilheira em área de rebrota de *Eucalyptus grandis*, no estado do Rio de Janeiro, aos 18 meses após o manejo de condução, foi de 3,8 Mg ha⁻¹ ano⁻¹.

Para os solos arenizados a serapilheira exerce papel de extrema importância na cobertura do mesmo, promovendo a manutenção da umidade, proteção dos

efeitos causados pelas chuvas e ventos, além de contribuir significativamente para a elevação dos níveis nutricionais do solo e aumento na atividade microbiana, elevando ainda os níveis de matéria orgânica.

Segundo Barlow et al. (2007), de maneira geral, a maior deposição de serapilheira é observada para os períodos de maior crescimento.

Os valores de serapilheira encontrados nesse estudo estão abaixo daqueles observados na maioria das plantações, inclusive em povoamentos da mesma idade, porém em condições de ambiente, absolutamente distintas. Entretanto, a produção de serapilheira é extremamente importante na cobertura e proteção do solo arenizado, melhorando também as características físicas e químicas ao longo das rotações.

3.4 CONCLUSÕES

A precipitação pluviométrica incidente anual média foi de 1.922 milímetros. A concentração dos nutrientes presentes na solução da precipitação pluviométrica variou na faixa de 0,01 mg L⁻¹ de P à 1,08 mg L⁻¹ para o Ca e N. As quantidades de íons presentes na solução da precipitação pluviométrica apresentaram a seguinte tendência; Cl > Ca > N > Na > K > S > Mg > P. As quantidades totais anuais de nutrientes que chegaram ao solo foram de 30,65 kg ha⁻¹ ano⁻¹, sendo deste total 7,46 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Cl, com a maior quantidade e a menor quantidade foi para o P com 0,06 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

A maior produção de serapilheira foi observada para o tratamento T 5 com 1.406,58 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Já a menor produção foi observada para o tratamento T 1 com 544,54 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os tratamentos apresentam a seguinte tendência; T 5 > T 3 > T 4 > T 2 > T 1.

A quantificação e caracterização da precipitação pluviométrica, bem como a determinação da produção de serapilheira, são informações fundamentais para auxiliar nas recomendações do manejo nutricional, buscando manter a sustentabilidade e produtividade das plantações florestais nos solos arenizados ao longo dos ciclos.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.**

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Washington, D.C. 19 th ed. 1998.

ASHAGRIE, Y.; ZECH, W. Dynamics of dissolved nutrients in forest floor leachates: comparison of a natural forest ecosystem with monoculture of tree species plantations in southeast Ethiopia. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 10, n. 2-4, p. 183-190, 2010.

BARLOW, J. et al. Litter fall and decomposition in primary, secondary and plantation forests in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 247, p. 91-97, 2007.

CALIL, F. N. **Aspectos Nutricionais de um Sistema Agroflorestal com Eucalipto no Sul do Rio Grande do Sul, Brasil.** 2008. 144 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CARVALHO, R. R. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* estabelecido em solo sujeito a arenização no sul do Brasil.** 2014. 80 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

CORRÊA, R. S. **Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* estabelecido no bioma Pampa.** 2011. 99 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CUNHA, G. M. et al. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 29, p. 253-363, 2005.

LACLAU, J. P. et al. Productivity in Tropical Plantations Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations: Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. 9. ed. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 259, p. 1771-1785, 2010.

LIKENS, G. E. et al. **Biogeochemistry of a Forested Ecosystem.** New York. Springer-Verlag. 1977.

LOPES, M. I. M.; DOMINGOS, M.; VUONO, Y. S. Ciclagem de nutrientes minerais. In: SYLVESTRE, L. S.; ROSA, M. M. T. **Manual metodológico para estudos botânicos na Mata Atlântica.** Seropédica: EDUR, p. 72-103, 2002.

LOPES, V. G. et al. Variáveis físicas e químicas do solo importantes na distribuição de raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L. no nordeste do Rio Grande do Sul. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 1, p. 14-23, 2013.

MATZENAUER, R. et al. **Atlas Climático do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. Secretária de Agricultura, Pecuária e Agronegócio; Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), 2011.

MARTINS, R. F. et al. Qualidade da Água de Chuva no Litoral de Santa Catarina. In: 5ª Semana de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFSC, 2013. Florianópolis. **Anais...** Disponível em: http://www.sepex.ufsc.br/anais_5/trabalhos/840.html. Acesso em: 11 nov. 2016.

NEVES, C. U. **Ciclagem de nutrientes em plantios de *Eucalyptus dunnii* com idade de 1, 2 e 3 anos no Planalto Sul Catarinense**. 2012. 94 p. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

PEREZ-MARIN, A. M.; MENEZES, R. S. C. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com *Gliricidia sepium*. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2573-2579, 2008.

SCHRUMPF, M. et al. Biogeochemistry of an afro-tropical montane rain forest on Mt. Kilimanjaro, Tanzania. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 22, p. 77-89, 2006.

SILVA, J. C. M. **Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* Maiden em uma microbacia hidrográfica experimental do bioma Pampa**. 2014. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. **Biomassa e Exportação de Nutrientes pela Colheita do Eucalipto**. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. editora da UFSM. Santa Maria, 2015.

4 BIOMASSA E NUTRIENTES

Resumo

O objetivo do estudo foi quantificar a biomassa e o estoque de nutrientes em um experimento de fertilização com cinco tratamentos de *Eucalyptus urophylla*, implantado em solo arenizado, aos 12 e 24 meses após a implantação no município de Maçambará - RS, região do bioma Pampa em fazenda pertencente à empresa StoraEnso Florestal. Realizou-se a amostragem e determinação da biomassa, em cada idade (12 e 24 meses após o plantio), a partir do abate de quinze árvores, selecionadas com base na variação diamétrica, considerando a distribuição em classes de diâmetro, com a derrubada de uma árvore média em cada parcela. As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e a biomassa fracionada nos seguintes componentes: folhas, galhos, casca do tronco, madeira do tronco e raízes. As amostras coletadas foram enviadas ao Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da UFSM, onde foram processadas para determinação dos teores de nutrientes. Aos 12 meses a maior altura foi de 4,20 metros para o T 5, já o T 1 teve altura de 3,10 metros. O maior Incremento Médio Anual (IMA) aos 24 meses foi observado para o T 5 com $28,20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a maior altura aos 24 meses foi observada no T 3 com 9,70 m. A biomassa total, observada teve variação entre os diferentes tratamentos, o maior acúmulo de biomassa aos 12 meses foi verificado para o T 5 com $6,82 \text{ Mg ha}^{-1}$, a menor produção foi observada no T 3 com acúmulo de $4,13 \text{ Mg ha}^{-1}$. Já aos 24 meses o maior acúmulo também foi observado para o T 5 com $37,56 \text{ Mg ha}^{-1}$, o menor acúmulo foi observado para o T 1 com $19,83 \text{ Mg ha}^{-1}$. Aos 24 meses o maior percentual de biomassa na madeira foi determinado para o T 4, com 49,00%, já o menor percentual de biomassa na madeira foi observado para o T 1 com 37,60%. No T 1 observou-se o maior acúmulo de biomassa nas raízes, com 33,50% da biomassa total acumulada nesse componente. A maior concentração de macro nutrientes aos 12 meses foi de N nas folhas e o micronutriente mais concentrado foi o Mn também nas folhas. Aos 12 meses o N foi o elemento com maior acúmulo nas folhas em todos os tratamentos, já na biomassa total o elemento mais acumulado foi o K. Aos 24 meses a maior concentração de macro nutrientes foi verificada para o Ca na casca nos tratamentos T 1, T 3, T 4 e T 5, já o T 2 obteve maior concentração de N nas folhas. A maior quantidade acumulada aos 24 meses foi de Ca para os tratamentos T 1, T 3, T 4 e T 5 chegando a $150,72 \text{ kg ha}^{-1}$ no T 5, já o T 2 obteve maior acúmulo de K. A maior quantidade de micronutriente na biomassa total foi observada para o Mn com $12.664,35 \text{ g ha}^{-1}$ no T 5.

Palavras-chave: Biomassa. Estoque de nutrientes. Produção florestal.

Abstract

The objective of the study was to quantify biomass and nutrient stock in a fertilization experiment with five treatments of *Eucalyptus urophylla*, implanted in sandstone soil, at 12 and 24 months after implantation in the municipality of Maçambará - RS, region of the Pampa biome on a farm belonging to the company StoraEnso Florestal. The sampling and determination of the biomass at each age, from the slaughtering of fifteen trees, were selected based on the diametric variation, considering the distribution in diameter classes, with the felling of a mean tree for each treatment. The selected trees were sectioned at ground level and fractured biomass in the following components: leaf, twig, bark, trunk wood and root. The collected samples were sent to the Forest Ecology Laboratory of the Department of Forestry Sciences of UFSM, where they were processed to determine the nutrient content. At 12 months, the highest height was 4.20 m for the T 5, while the T 1 had height of 3.10 m. The highest IMA at 24 months was observed for T 5 with $28.20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, the highest height at 24 months was observed at T 3 with 9.70 m. The total biomass, observed to have varied among the different treatments, the highest accumulation of biomass at 12 months was observed for T 5 with 6.82 Mg ha^{-1} , the lowest production was observed in T 3 with accumulation of 4.13 Mg ha^{-1} . At 24 months, the highest accumulation was also observed for T 5 with 37.56 Mg ha^{-1} , the lowest accumulation was observed for T 1 with 19.83 Mg ha^{-1} . At 24 months, the highest accumulation of biomass in the wood was observed for T 4, with 49.00%, and the lowest accumulation of biomass in the wood was observed for the T 1 with 37.60%. In T 1 the highest accumulation of biomass in the roots was observed, with 33.50% of the total biomass accumulated in this component. The highest concentration of macro nutrients at 12 months was N in leaves and the most concentrated micronutrient was Mn in the leaves. At 24 months, the highest amount of nutrients accumulated in the biomass was observed for Ca in the bark, reaching $150.72 \text{ kg ha}^{-1}$, Ca was the element with the highest amounts for all treatments. The highest amount of micronutrient was observed for Mn with $12.664,35 \text{ g ha}^{-1}$ in T 5.

Keywords: Biomass. Nutrient stocks. Forest production.

4.1 Introdução

Para Viera e Schumacher (2015), a produção e determinação da biomassa em plantações de eucalipto, através do entendimento da dinâmica e intensidade de colheita da biomassa, em especial sobre a alocação de nutrientes, nos diferentes componentes das árvores, é importante para a compreensão do balanço nutricional no ecossistema.

Os atributos químicos e físicos do solo, disponibilidade de nutrientes, disponibilidade hídrica, a espécie cultivada e o espaçamento utilizado são os principais fatores que determinam a produção de biomassa em espécies florestais (RYAN et al., 2010).

Conforme Larcher (2000), nas espécies arbóreas de maneira geral, na fase inicial de crescimento, grande parte dos nutrientes, está nos tecidos formadores da copa, principalmente folhas e galhos.

A idade do povoamento de *Eucalyptus* tem influência significativa na distribuição dos componentes da biomassa. Aos 15 meses, menos que 45% da biomassa estavam nos componentes madeira e casca para o *Eucalyptus grandis*. Quando esse povoamento chegou aos 73 meses de idade, os componentes casca e madeira representavam 85% da biomassa total acima do solo (REIS et al., 1985).

Para que se diminua o impacto na exportação de nutrientes na colheita da biomassa, é importante que os povoamentos não sejam colhidos muito jovens. Isso acontece, porque o *Eucalyptus* tende a se tornar mais eficiente na utilização dos elementos com o aumento da idade, diminuindo assim, a quantidade de nutrientes exportados por unidade de biomassa colhida, (VIERA; SCHUMACHER, 2015).

De acordo com Harrison et al. (2000), com o aumento da idade nos povoamentos de eucaliptos, de diferentes espécies, ocorreu aumento significativo nas quantidades de N e P acumulados na biomassa. Porém, a concentração dos nutrientes diminuiu, indicando aumento na eficiência nutricional.

A produção de biomassa é mais elevada em locais com boa fertilidade natural, porém devido as maiores taxas de acúmulo de nutrientes na biomassa a tendência na exportação dos elementos tende a ser maior. Podendo ser equilibrado, através da ciclagem de nutrientes que as árvores promovem (BARROS et al., 1990).

Viera e Schumacher (2015) ressaltam que atualmente as empresas florestais, em sua maioria, no momento da colheita, retiram do sítio apenas o fuste, permanecendo os demais componentes da biomassa no campo para que colaborem com a ciclagem de nutrientes, mantendo a cobertura do solo.

A permanência dos resíduos da colheita no campo traz grandes benefícios, uma vez que fornece significativa quantidade de nutrientes, promove o aumento na fertilidade e melhora a cobertura do solo (GONÇALVES et al., 2000).

De acordo com Laclau et al. (1999), em plantações de *Eucalyptus* implantados em solo de baixa fertilidade natural no Congo, observaram aumento no acúmulo de N nas folhas até o quinto ano após o plantio.

Silva (2014), ao estudar *Eucalyptus dunnii*, estabelecido no bioma Pampa, observou as maiores concentrações de macro nutrientes nos tecidos formados da copa. Estando mais presente no componente folha.

Prado (2008) destaca que o componente com o menor acúmulo de biomassa foram as folhas. Porém as maiores concentrações de N foram observadas neste componente.

O *Eucalyptus saligna*, aos 4 anos, cultivado em solo arenoso no município de São Francisco de Assis – RS, apresentou a seguinte magnitude de armazenamento, em ordem decrescente, na biomassa; $Ca > K > N > Mg > P > S$ (BEULCH, 2013).

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Determinação da biomassa

Aos 12 e aos 24 meses, após a implantação do experimento, em cada uma das parcelas dos diferentes tratamentos de fertilização, foram realizadas as medições de diâmetro à altura do peito (DAP), com o auxílio de uma fita diamétrica, e da altura total, com hipsômetro Vertex.

Mediante o inventário das parcelas, calculou-se a árvore média de cada uma destas. Uma vez identificadas às árvores, elas foram abatidas e fracionadas nos componentes: folhas; galhos; casca do tronco, madeira do tronco e raízes. As frações foram pesadas em balança de mesa, para a obtenção da biomassa úmida total no campo.

Após a amostragem e compartimentalização da biomassa, uma amostra de 150 g de massa úmida de cada componente, foi acondicionada em embalagem de papel pardo, devidamente identificada e posteriormente foram levadas ao Laboratório de Ecologia Florestal, do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. No laboratório foram submetidas à secagem

em estufa de circulação e renovação de ar a 70 °C, até atingirem massa seca constante.

4.2.2 Análises químicas e laboratoriais

A realização das análises químicas ocorreu no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria. Em todas as amostras de tecido vegetal, após a secagem e moagem, foi realizada a determinação dos teores de macro nutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn).

O nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl (digestão sulfúrica = $H_2SO_4 + H_2O_2$); fósforo e boro por espectrofotometria (P por digestão nítrica-perclórica e B por digestão seca); potássio por fotometria de chama; enxofre por turbidimetria; e cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco por espectrometria de absorção atômica (todos por digestão nítrica-perclórica), seguindo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999).

Todas as amostras coletadas em campo foram pesadas, com balança de precisão de (0,01g) e acondicionadas em sacos de papel. As determinações das concentrações dos elementos na biomassa foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Wiley com peneira de 20 mesh. As determinações analíticas de macro nutrientes: (N, P, K, Ca, Mg e S), e dos micronutrientes: (B, Cu, Fe, Mn e Zn), foram realizadas segundo a metodologia de Tedesco et al. (1995), conforme a Tabela 6. As análises químicas das amostras dos nutrientes na biomassa foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Tabela 6 – Descrição dos procedimentos analíticos utilizados na determinação dos nutrientes, em amostras de tecido vegetal

Nutriente	Digestão	Método	Comprimento de onda (nm)
N	Sulfúrica (H ₂ SO ₄ + H ₂ O ₂)	Kjeldahl	–
Ca			422,67
Mg			285,21
Cu		Espectrofotometria	324,75
Fe	Nítrica-perclórica (HNO ₃ + HClO ₄)	de absorção atômica	248,33
Mn			279,48
Zn	[3:1]		213,86
K		Fotometria de chama	–
P		Espectrofotometria	660,00
S		Turbidimetria	420,00
B	Seca	Espectrofotometria	460,00

A quantidade de nutrientes em cada um dos componentes das árvores, foi obtida através do produto entre a biomassa e a concentração de nutrientes em cada um dos referidos componentes. A estimativa do estoque de nutrientes na biomassa por hectare foi realizada pela extrapolação do estoque médio de nutrientes com base na área amostrada.

4.2.3 Análises estatísticas

Os resultados foram analisados estatisticamente através do pacote SAS for Windows (2003), por meio do teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade de erro, considerando-se o delineamento inteiramente casualizado, onde cada árvore amostrada correspondeu a uma repetição, para cada componente da biomassa estudado.

Para análise da máxima eficiência técnica, utilizou-se modelo de regressão polinomial de segundo grau.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Características dendrométricas

Para a obtenção das variáveis dendrométricas 143 árvores foram medidas em cada parcela, as quais constituíram a parcela efetiva de avaliação, desconsiderando a bordadura dupla. As árvores foram medidas semestralmente, em cada uma das parcelas dos diferentes tratamentos. Aos 12 e aos 24 meses, determinou-se a cubagem rigorosa através do método de Smalian, para calcular o volume das árvores.

Nessas árvores mediram-se as alturas com auxílio do hipsômetro Vertex e os diâmetros à altura do peito (DAP) com uso de fita diamétrica.

A maior área basal, aos 12 meses após a implantação, foi observada para o T 5 com, $2,05 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, e a menor no T 1 com $1,02 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, o que representa uma diferença de 50,25%, entre os tratamentos de maior e menor crescimento.

Ao observar a Tabela 7, é possível verificar que aos 12 meses, as diferenças significativas foram para o volume, DAP e altura nos diferentes tratamentos. Não houve diferença estatística para o número de árvores por hectare (percentual de sobrevivência) e a área basal dos diferentes tratamentos.

Conforme IBÁ (2017), atualmente a produtividade média das plantações de eucaliptos no Brasil é de $37,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, configurando dessa forma, a maior produtividade global, medida em volume de madeira produzida por unidade de área ao ano, além da menor rotação mundial de cultivo.

Esses altos índices de produtividade são resultado das condições climáticas e de sítio, somadas aos contínuos investimentos em pesquisa por parte das empresas e universidades envolvidas no setor florestal brasileiro (IBÁ, 2017).

Os elevados níveis de sobrevivência verificados para os diferentes tratamentos avaliados estão relacionados à adaptação do genótipo ao ambiente, somados ao momento adequado da implantação do povoamento. No outono as temperaturas são amenas e favorecem o crescimento inicial das mudas.

Também contribuiu a quantidade e frequência de ocorrência das chuvas que foram observadas para o período do estudo, onde a precipitação pluviométrica média anual foi de 1.922 milímetros. Com variação nos meses, porém distribuída ao longo de todo ano.

Figura 12 – Aspecto geral do experimento com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado, no município de Maçambará – RS, aos 12 meses



Verifica-se na Figura 12, o aspecto geral do experimento aos 12 meses após a implantação, sendo possível observar que ainda não ocorre de forma intensa, deposição da serapilheira sobre o solo. Porém as árvores já iniciavam o fechamento da entre linha de plantio com a expansão das copas, formando uma cobertura de proteção ao solo contra a ação mecânica dos ventos e chuvas.

É esperado que, ao longo dos ciclos, as condições químicas e a estruturação física do solo apresentem algum tipo de melhoria, uma vez que, através da ciclagem de nutrientes promovida pelas árvores, principalmente através da deposição da serapilheira, aumentarão de forma significativa os níveis de matéria orgânica, passando também a influenciar na atividade biológica do solo.

A Tabela 7 apresenta as variáveis dendrométricas observadas no experimento com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 12 meses após a implantação do estudo.

Nessa idade os tratamentos T 2 e T 4 não diferem estatisticamente entre si para o volume. Assim como ambos apresentam a mesma altura aos 12 meses, com 3,80 metros.

Tabela 7 – Valores das variáveis dendrométricas no experimento com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 12 meses

Variáveis	Tratamentos				
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
DAP (cm)	2,70 d	3,50 bc	3,40 c	3,60 b	3,90 a
Altura (m)	3,10 c	3,80 b	3,70 b	3,80 b	4,20 a
Área basal (m ² ha ⁻¹)	1,02 a	1,66 a	1,60 a	1,73 a	2,05 a
N ^o árvores (ha ⁻¹)	1666 a	1651 a	1655 a	1649 a	1659 a
Volume c/c (m ³ ha ⁻¹)	3,36 d	4,93 b	4,38 c	5,03 b	6,74 a

Onde: letras diferentes na horizontal indicam diferenças significativas entre as variáveis dendrométricas nos diferentes tratamentos, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Aos 12 meses o maior volume foi observado para o T 5 com 6,74 m³ ha⁻¹, seguido pelo T 4 com 5,03 m³ ha⁻¹ e o menor incremento aos 12 meses foi observado para o T 1 com 3,36 m³ ha⁻¹. O T 5 obteve crescimento 50,15% superior ao observado para o T 1.

A maior altura também foi observada para o T 5 com 4,20 metros, verificou-se a menor altura para o T 1 com 3,10 metros. A mesma tendência foi observada para os diâmetros, onde o T 5 atingiu 3,90 cm de DAP aos 12 meses e o T 1 obteve o menor DAP com 2,70 cm. A área basal média variou entre 1,02 m² ha⁻¹ para o T 1 e 2,05 m² ha⁻¹ para o T 5.

A sobrevivência após os 12 meses, foi muito elevada para todos os tratamentos avaliados, com níveis ultrapassando 98% em todas as parcelas dos diferentes tratamentos.

Segundo Rovedder e Eltz (2008) ao avaliar o crescimento do *Eucalyptus tereticornis* em solo arenizado no bioma Pampa, aos 12 meses, a altura média foi 1,91 metros com 83% de sobrevivência.

Conforme Dinardi (2014), o percentual de sobrevivência esta relacionado à adaptabilidade do material genético às condições do ambiente, uma vez que altos percentuais desta variável indicam alta adaptação do genótipo ao ambiente.

As variáveis dendrométricas, aos 12 meses apresentam a tendência esperada, onde os maiores valores foram observados para o T 5, que foi o tratamento que recebeu as maiores quantidades de fertilizantes, e os menores valores foram observados para o T 1, que é o tratamento que recebeu as menores quantidades de fertilizantes, esperando-se assim que apresente menor acúmulo de

biomassa para as condições deste solo. Os demais tratamentos apresentam valores intermediários em suas variáveis.

Ao observar a Tabela 8, que apresenta as variáveis dendrométricas do experimento aos 24 meses, é possível verificar que já existem variações significativas, entre os diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado, no município de Maçambará – RS, evidenciando dessa forma, a influência positiva que os fertilizantes exercem nas variáveis dendrométricas em povoamentos estabelecidos nesses solos.

Tabela 8 – Valores das variáveis dendrométricas no experimento com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 24 meses

Variáveis	Tratamentos				
	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
DAP (cm)	6,71 d	8,10 c	8,60 b	8,20 c	9,01 a
Altura (m)	7,10 c	8,60 b	9,70 a	8,40 b	9,60 a
Área basal (m ² ha ⁻¹)	5,88 b	8,59 ab	9,72 ab	8,71 ab	10,53 a
N ^o árvores (ha ⁻¹)	1666 a	1651 a	1655 a	1649 a	1659 a
Volume c/c (m ³ ha ⁻¹)	23,60 e	40,00 c	47,70 b	38,60 d	56,50 a
IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	11,80 e	20,00 c	23,80 b	19,30 d	28,20 a

Onde: letras diferentes na horizontal indicam diferenças significativas entre as variáveis dendrométricas nos diferentes tratamentos, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Povoamentos de *Eucalyptus urophylla*, no interior de São Paulo, aos 12 meses atingiram altura de 8,7 metros, já aos 24 meses, a altura foi de 14,6 m. (DINARDI, 2014). Valores superiores aos observados nesse estudo nas duas idades.

Aos 24 meses, o T 5 apresentou o maior incremento com 28,20 m³ ha⁻¹ano⁻¹, o que representa, 58,16% a mais que o T 1, que teve um crescimento médio de 11,80 m³ ha⁻¹ano⁻¹. A maior área basal média também foi observada para o T 5, com 10,53 m² ha⁻¹, 44,16% superior ao valor observado para o T 1, que foi de 5,88 m² ha⁻¹. Os demais tratamentos apresentam valores intermediários em suas variáveis dendrométricas aos dois anos.

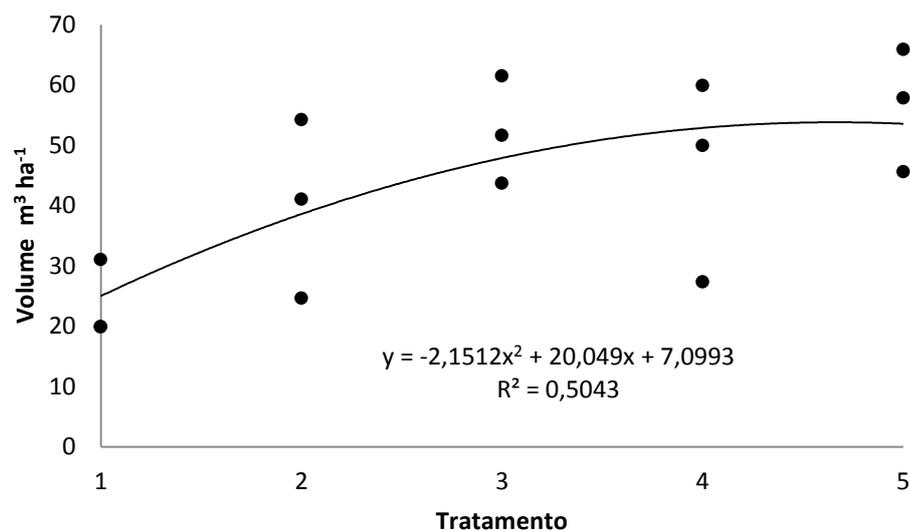
Povoamentos de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em solo arenizado, na mesma região do presente estudo, aos 78 meses, a produtividade foi de 60,38 m³ ha⁻¹, o que resulta na média de 9,29 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, (FRANTZ, 2016). Crescimento inferior ao observado para todos os tratamentos.

Conforme Corrêa (2011), povoamentos de *Eucalyptus dunnii*, em Alegrete – RS, região do bioma Pampa, aos 27 meses, alcançaram altura média de 8,7 metros, já o DAP foi de 9,0 cm, com produtividade de $38,66 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Valores aproximados aos verificados no presente estudo.

A maior altura para o *Eucalyptus urophylla* foi observada para o T 4 com 9,7 metros, seguido pelo T 5 com 9,6 m, não diferindo estatisticamente entre si. Já a menor altura foi observada para o T 1 com 7,1 metros.

Na Figura 13 verifica-se a análise da máxima eficiência técnica para o volume, aos 24 meses.

Figura 13 – Análise da máxima eficiência técnica para o volume, aos 24 meses, nos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado, no município de Maçambará – RS



Verifica-se que na análise da máxima eficiência técnica aos 24 meses, a curva é crescente até o T 4, com tendência de estabilização entre os tratamentos T 4 e T 5. Sendo a menor eficiência observada para o T 1.

Conforme Moraes (2006) a produtividade média para *Eucalyptus sp.* em Paracatu, Minas Gerais, aos 36 meses, foi de $35,95 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Para o diâmetro o T 5 apresentou DAP com 9,01 cm. Para essa variável o menor valor foi mais uma vez observado para o T 1 com DAP de 6,71 cm. É importante destacar a relação hipsométrica encontrada para todos os tratamentos avaliados.

Conforme Londero (2011) que determinou o crescimento para *Eucalyptus saligna*, na região de Guaíba no Rio Grande do Sul, aos 24 meses, a altura foi de 10,9 metros e DAP foi de 9,4 cm. Já o incremento observado nesse estudo foi de $24,65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Estando abaixo do crescimento verificado para o T 5.

Na Figura 14, verifica-se o aspecto geral do T 5 aos 24 meses, sendo possível observar que o dossel já está completamente fechado, proporcionando cobertura e proteção ao solo. Também é possível verificar o acúmulo de serapilheira sobre o solo, criando condições para que a atividade biológica do mesmo seja estimulada.

Figura 14 – Aspecto geral do experimento com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado, aos 24 meses, no município de Maçambará – RS



Em plantações de *Eucalyptus uruphylla* no município de Bauru, interior de São Paulo, aos 36 meses, observou-se um incremento médio de $38,70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. (DINARDI, 2014).

Para Silva et al. (2008) ao estudar um povoamento de *Eucalyptus grandis*, no município de Itatinga, interior de São Paulo, aos 36 meses, a produtividade foi de $33,44 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Conforme Gatto et al. (2014), a produtividade observada para o híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos 60 meses, no Distrito Federal, foi de 26,94 m³ ha⁻¹ ano⁻¹. Crescimento inferior ao verificado para o T 5 no presente estudo.

A produtividade média observada, aos sete anos, no bioma Pampa em plantações comerciais, para *Eucalyptus saligna* foi de 61,10 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, *Eucalyptus grandis* com 54,84 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com 54,25 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, *Eucalyptus benthamii* com 49,87 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e *Eucalyptus dunnii* com 45,97 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (GUIMARÃES, 2016).

Com base nos resultados observados para a produtividade de povoamentos comerciais de eucaliptos em diferentes regiões tradicionais na produção florestal, em comparação com os resultados encontrados nesse trabalho, pode-se considerar que os resultados são promissores, e indicam o potencial da silvicultura para os núcleos arenizados.

Os solos arenizados possuem extrema particularidade, onde a fertilidade natural é muito baixa e insuficiente para o estabelecimento e crescimento do eucalipto. Dessa forma, o resultado obtido através das fertilizações neste estudo, mesmo quando abaixo do crescimento observado para outras regiões, apontam a silvicultura como alternativa viável, uma vez que essas áreas encontram-se absolutamente inutilizadas nas propriedades.

A silvicultura com eucaliptos nos solos arenizados além de gerar atividade econômica, traz contribuições significativas para a cobertura do solo melhorando ainda as condições químicas e aumentando a matéria orgânica, além de estimular atividade biológica.

4.3.2 Estimativa da biomassa

A determinação da biomassa para o estudo ocorreu, aos 12 e aos 24 meses, após a implantação do experimento. Uma árvore média de cada parcela foi abatida e compartimentalizada nos seguintes componentes; folhas, galhos, casca do tronco, madeira do tronco e raízes. Para o estudo, 15 árvores foram abatidas, aos 12 meses e mais 15 árvores foram abatidas, aos 24 meses, sendo uma em cada parcela para cada idade.

Para estimar a biomassa das raízes, utilizou-se a mesma árvore abatida para a determinação da biomassa acima do solo. O sistema radicular das árvores, foi removido por escavação manual, pesagem da biomassa total em campo e coleta de amostra representativa para a determinação da massa seca e a realização das análises químicas deste componente. Foram coletadas todas as raízes na área efetiva de cada árvore até 1 metro de profundidade.

Na Tabela 9 verifica-se a distribuição da biomassa nos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, aos 12 meses.

Tabela 9 – Distribuição da biomassa nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus urophylla* aos 12 meses, em solo arenizado no município de Maçambará – RS

Componente	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
	(Mg ha ⁻¹)				
Folhas	1,02 a (23,50)*	1,13 a (22,10)	1,14 a (23,50)	1,45 a (24,70)	1,58 a (23,20)
Galhos	0,68 a (15,70)	0,79 a (15,40)	0,71 a (14,60)	1,24 a (21,12)	1,12 a (16,40)
Casca	0,24 a (5,40)	0,31 a (6,10)	0,29 a (6,10)	0,34 a (5,70)	0,39 a (5,70)
Madeira	0,96 a (22,00)	1,45 a (28,30)	1,39 a (28,80)	1,59 a (27,08)	1,81 a (26,50)
Raízes	1,45 a (33,40)	1,44 a (28,10)	1,30 a (27,00)	1,26 a (21,40)	1,92 a (28,20)
Total	4,35 a (100)	5,12 a (100)	4,83 a (100)	5,88 a (100)	6,82 a (100)

* Valores entre parênteses representam o percentual do componente na biomassa total. Onde: letras diferentes na horizontal indicam diferenças significativas entre a distribuição da biomassa nos diferentes tratamentos, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Os componentes da biomassa não apresentam diferença estatística para os diferentes tratamentos avaliados aos 12 meses. Sendo que a maior variação foi observada na biomassa total acumulada para cada um dos tratamentos.

O T 5, acumulou 6,82 Mg ha⁻¹, seguido pelo T 4 com 5,88 Mg ha⁻¹. Já o menor acúmulo de biomassa aos 12 meses, foi observado para o T 1, com 4,35 Mg ha⁻¹, o que representa 36,22% menos do que o acumulado no T 5.

O maior acúmulo de biomassa na madeira foi observado para o T 3 com 28,80% da biomassa total, seguido pelo T 2 com 28,30%, já o menor percentual de biomassa acumulada na madeira foi observado para o T 1 com 22,00%, no tratamento T 1 também se verificou o maior acúmulo de biomassa nas raízes, com 33,40% do total.

Analisando ainda a Tabela 9 é possível verificar que aos 12 meses não existem diferenças estatísticas entre os tratamentos de maior e menor aplicação de fertilizantes. O T 3 que obteve aos 12 meses menor acúmulo de biomassa que o tratamento T 2, que recebeu quantidade menor de fertilizante. Já o T 5 produziu 2,51 Mg ha⁻¹ a mais que o tratamento T 1.

Comportamento semelhante, para os demais componentes, foi observado por Beulch (2013), ao estudar um povoamento de *Eucalyptus saligna*, aos quatro anos, e Guimarães (2014) ao estudar as espécies; *Eucalyptus dunnii*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* X *Eucalyptus grandis*, também aos quatro anos de idade.

Fatores genéticos, ambientais e silviculturais influenciam diretamente na capacidade produtiva das plantações, no entanto, para Barros e Comerford (2002), o tipo de solo e a disponibilidade nutricional são os principais fatores influenciando a produção em plantações florestais.

Essa afirmação se reforça ao observar que os tratamentos com menor suprimento nutricional, acumulam menor quantidade de biomassa, comparado aos tratamentos que receberam maior quantidade de fertilizante, mesmo que não haja diferença estatística.

Na Tabela 10 é possível verificar a distribuição da biomassa nos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, aos 24 meses. Nesse momento o T 5 apresentou o maior acúmulo de biomassa, com 37,56 Mg ha⁻¹, seguido pelo T 3 com 32,63 Mg ha⁻¹. Os tratamentos T 2, T 3 e T 4 não diferem estatisticamente entre si para a biomassa total produzida. O menor acúmulo foi observado para o T 1.

A madeira é o componente com o maior percentual aos 24 meses para todos os tratamentos, seguido pelas raízes e folhas, sendo a casca o componente com o menor percentual da biomassa total.

No T 5 verificou-se o maior acúmulo de biomassa na madeira aos 24 meses com 16,94 Mg ha⁻¹, já a menor quantidade de biomassa nesse componente foi observada para o T 1 com 7,46 Mg ha⁻¹, o que representa uma produção 55,97% inferior que a observada no T 5.

Para a casca verificou-se variação entre 6,20 e 7,10% da biomassa total nos diferentes tratamentos, sendo o maior acúmulo aos 24 meses, observado para o T 5 com 2,61 Mg ha⁻¹, já a menor quantidade foi observada para o T 1 com 1,23 Mg ha⁻¹.

Tabela 10 - Distribuição da biomassa nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus urophylla*, aos 24 meses, em solo arenizado no município de Maçambará – RS

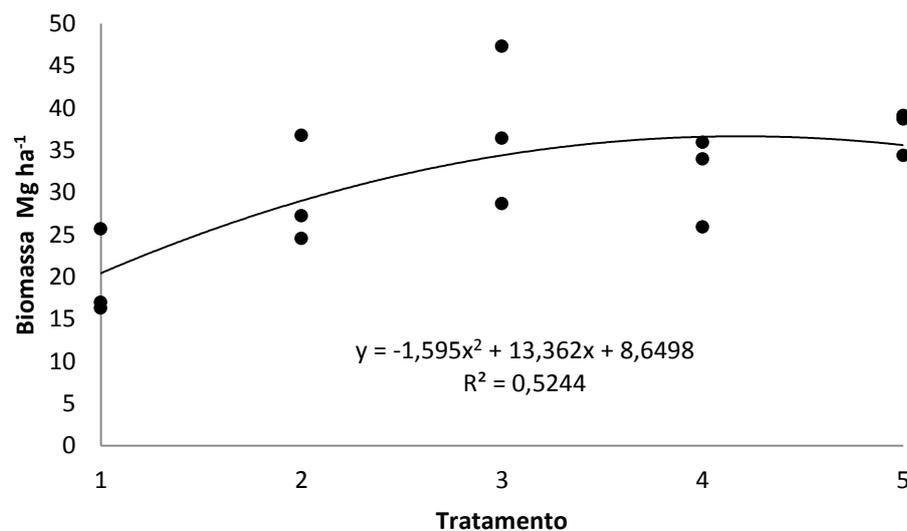
Componente	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
	(Mg ha ⁻¹)				
Folhas	2,67 b (13,50)*	2,90 b (9,80)	3,23 ab (9,90)	2,68 b (8,90)	4,06 a (10,80)
Galhos	1,82 b (9,20)	3,71 a (12,60)	3,71 a (11,40)	3,00 ab (10,00)	4,32 a (11,50)
Casca	1,23 a (6,20)	1,83 a (6,20)	2,31 a (7,10)	1,99 a (6,60)	2,61 a (7,00)
Madeira	7,46 b (37,60)	13,51ab (45,80)	14,66ab (44,90)	14,70ab (49,00)	16,94a (45,10)
Raízes	6,65 a (33,50)	7,56 a (25,60)	8,72 a (26,70)	7,65 a (25,50)	9,63 a (25,60)
Peso total	19,83 b (100)	29,51 ab (100)	32,63 ab (100)	30,02 ab (100)	37,56 a (100)

* Valores entre parênteses representam o percentual do componente na biomassa total. Onde: letras diferentes na horizontal indicam diferenças significativas entre a distribuição da biomassa nos diferentes tratamentos, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

O maior percentual de biomassa acumulado na madeira, foi observado para o T 4, com 49,00% nesse componente. Já o maior percentual de biomassa acumulado abaixo do solo, nas raízes, foi observado para o T 1 com 33,50% da biomassa total.

Na Figura 15 é possível verificar o ponto da máxima eficiência técnica, para a biomassa aos 24 meses, que está localizado entre os tratamentos T 4 e T 5.

Figura 15 – Análise da máxima eficiência técnica para a biomassa total, aos 24 meses, nos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado, no município de Maçambará – RS



Verifica-se na análise da máxima eficiência técnica para a produção de biomassa total, que a resposta aos fertilizantes é evidente e interfere no acúmulo de

biomassa nos solos arenizados, onde o aumento da produtividade está relacionado à maior quantidade de fertilizante aplicado.

No bioma Pampa, na mesma região do presente estudo, em um povoamento clonal de *Eucalyptus saligna*, avaliando a produção de biomassa acima do solo aos quatro anos, encontrou 88,81 Mg ha⁻¹, com 76,8% fração madeira, 9,3% casca, 7,9% galhos e 6,0% folhas (BEULCH, 2013).

Frantz (2016), ao determinar a biomassa acima do solo, aos 78 meses, em um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em solo arenizado, na mesma região do estudo, encontrou 36,24 Mg ha⁻¹, sendo 2,64 Mg ha⁻¹ na casca, 3,85 Mg ha⁻¹ nas folhas, 7,40 Mg ha⁻¹ nos galhos e 22,35 Mg ha⁻¹ na madeira.

Considerando os resultados obtidos em outros trabalhos de biomassa sobre o gênero *Eucalyptus*, percebe-se que os valores obtidos no presente estudo, estão próximos daqueles observados em solos não arenizados na mesma região.

Conforme Schumacher e Caldeira, (2001) para *Eucalyptus globulus* subespécie *maidenii* aos quatro anos de idade, a produção de biomassa acima do solo foi de 83,2 Mg ha⁻¹.

Em situação edáfica de baixa fertilidade, um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, com quatro anos, apresentou biomassa total acima do solo de 74,49 Mg ha⁻¹, no Distrito Federal (GATTO et al., 2014).

As plantações com o gênero *Eucalyptus* nos núcleos arenizados do bioma Pampa, além de contribuir com a cobertura do solo, apresentam acúmulo de biomassa que viabiliza a produção florestal, porém os povoamentos precisam receber a fertilização adequada.

4.3.3 Nutrientes na biomassa

Verifica-se na Tabela 11, a concentração de macro e micronutrientes presentes nos diferentes componentes das árvores de *Eucalyptus urophylla* aos 12 meses.

O elemento com as maiores concentrações aos 12 meses foi o N nas folhas para todos os tratamentos, seguido pelo K principalmente nas folhas e na casca. O macro nutriente com as menores concentrações foi o P seguido pelo S nos diferentes tratamentos avaliados.

As maiores concentrações de micronutrientes foram observadas para o Mn nos diferentes componentes da biomassa para todos os tratamentos, a maior concentração foi observada nas folhas. Já as menores concentrações foram observadas para o Cu e Zn.

A madeira é o componente da biomassa com a menor concentração de nutrientes aos 12 meses, a maior concentração neste componente é observada para o K. Nas raízes o K também é o macro nutriente que possui as maiores concentrações aos 12 meses. O Fe está mais concentrado nas raízes em todos os tratamentos. Já Mn possui as maiores concentrações nas folhas e na casca.

Tabela 11 - Concentração de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 12 meses

(continua)

Trat	Comp	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T 1	F*	15,75a	0,84b	8,61a	5,04a	1,90a	1,07a	27,65a	4,27a	282,93a	1401,30a	10,03a
	G	2,07a	0,30a	5,67a	3,56a	0,69a	0,34a	8,05a	2,48a	44,58a	703,33a	6,70a
	C	2,65a	0,33b	7,82a	8,26a	1,24a	0,31b	16,38b	2,12ab	140,91a	1426,56a	7,60a
	M	0,69a	0,21a	5,30a	0,60a	0,39a	0,35a	4,92a	2,64a	26,53a	226,21a	5,82b
	R	2,58a	0,29a	5,11a	2,94a	0,61a	0,45a	11,46a	3,88a	644,63a	500,77a	11,68a
T 2	F	18,69a	1,30a	12,39a	6,45a	2,12a	1,28a	55,00a	3,60a	318,40a	1004,00a	11,20a
	G	2,61a	1,02a	6,27a	5,10a	0,77a	0,39a	9,40a	2,20a	57,75a	698,13a	7,66a
	C	3,16a	0,47ab	11,03a	6,85a	1,47a	0,38ab	18,3ab	3,04a	119,73a	932,46b	8,33a
	M	1,17a	0,57a	6,89a	0,79a	0,48a	0,16b	5,40a	3,74a	25,64a	250,84a	7,15ab
	R	1,52a	0,27a	5,68a	4,22a	1,13a	0,39a	10,8a	2,89a	312,96a	598,27a	8,39a
T 3	F	18,59a	1,39a	9,82a	6,21a	2,01a	1,41a	59,20a	4,13a	246,85a	1037,50a	13,26a
	G	3,71a	1,32a	8,14a	4,42a	0,89a	0,44a	12,72a	3,56a	148,61a	777,90a	11,42a
	C	2,42a	0,47ab	8,16a	6,05a	1,16a	0,38ab	20,64ab	2,92a	183,96a	959,88b	8,32a
	M	0,62a	0,62a	6,44a	0,89a	0,45a	0,38a	6,35a	3,52a	34,52a	230,83a	9,59a
	R	1,81a	0,31a	4,67a	3,64a	0,75a	0,43a	15,12a	4,02a	567,30a	491,80a	11,78a
T 4	F	17,10a	1,02ab	8,61a	7,03a	1,89a	1,09a	50,54a	3,26a	322,50a	1695,25a	12,89a
	G	2,66a	0,63a	4,73a	2,88a	0,55a	0,44a	9,20a	1,97a	60,55a	811,40a	7,73a
	C	2,97a	0,51ab	7,91a	8,26a	1,26a	0,45a	22,21ab	1,54b	102,94a	1637,82a	7,40a
	M	0,68a	0,45a	6,20a	0,87a	0,47a	0,36a	7,32a	3,45a	31,27a	256,58a	7,09ab
	R	1,42a	0,34a	5,09a	3,82a	1,27a	0,56a	10,04a	3,56a	679,15a	955,75a	8,91a

(conclusão)												
T 5	F	16,44a	1,19ab	9,56a	6,46a	1,76a	1,07a	66,07a	3,64a	299,47a	1667,60a	14,37a
	G	3,70a	1,20a	8,02a	3,41a	0,72a	0,44a	13,07a	2,35a	67,04a	1097,38a	9,80a
	C	3,36a	0,60a	10,44a	6,40a	1,22a	0,43a	26,27a	1,65b	148,21a	1612,23a	8,87a
	M	1,82a	0,69a	7,67a	0,83a	0,50a	0,38a	5,78a	2,97a	37,60a	261,27a	8,12ab
	R	2,45a	0,36a	5,01a	3,30a	0,70a	0,49a	14,60a	4,16a	653,20a	426,85a	13,04a

*(F) folha, (G) galho, (C) casca, (M) madeira e (R) raiz.

Onde. Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre os tratamentos, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

As maiores concentrações de B aos 12 meses, foram observadas nas folhas e em seguida na casca para os diferentes tratamentos. As menores concentrações desse elemento foram verificadas na madeira.

As menores concentrações de Ca aos 12 meses são observadas para a madeira. Já a maior concentração desse elemento é observada na casca e depois nas folhas com a mesma tendência para os diferentes tratamentos.

Conforme Frantz (2016), em plantações de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, em solo arenizado no Pampa, as maiores concentrações de macro e micronutrientes foram encontradas nas folhas, à exceção dos elementos Cu, nos galhos e Mn na casca. A distribuição dos elementos para macro e micronutrientes, respectivamente, obedeceu a seguinte ordem: Ca > N > K > Mg > P > S e Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Para Beulch (2013), no *Eucalyptus saligna* no município de São Francisco de Assis – RS, aos quatro anos, as maiores concentrações de macro nutrientes estão nas folhas, com exceção do Ca, que se encontrava mais concentrado na casca.

Na Tabela 12 verifica-se a quantidade de macro e micronutrientes presentes na biomassa aos 12 meses.

O K foi o macro elemento que obteve o maior acúmulo na biomassa total aos 12 meses, no T 5 o elemento acumulou 51,68 kg ha⁻¹, já a menor quantidade acumulada foi observada no T 1 com 26,97 kg ha⁻¹. Já o menor acúmulo foi observado para o P com 5,38 kg ha⁻¹ no T 5 e 1,76 kg ha⁻¹ no T 1.

Considerando a concentração de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa, a colheita não deverá acontecer em idades jovens dos povoamentos e somente o componente madeira, deverá se retirado, permanecendo os demais para a cobertura do solo e ciclagem de nutrientes.

Tabela 12 –Quantidade de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 12 meses.

Trat	Comp	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Kg ha ⁻¹								g ha ⁻¹				
T 1	F*	16,06	0,85	8,78	5,14	1,94	1,09	28,20	4,36	288,60	1429,36	10,23
	G	1,42	0,20	3,88	2,44	0,47	0,23	5,50	1,70	30,49	481,00	4,58
	C	0,63	0,08	1,84	1,95	0,29	0,07	3,86	0,50	33,23	336,37	1,79
	M	0,66	0,20	5,06	0,58	0,37	0,34	4,71	2,53	25,36	216,18	5,56
	R	3,74	0,42	7,41	4,27	0,88	0,65	16,62	5,62	934,61	726,03	16,94
	Total	22,51	1,76	26,97	14,36	3,96	2,39	58,89	14,70	1312,28	3188,94	39,11
T 2	F	21,18	1,47	14,05	7,31	2,41	1,45	62,33	4,11	360,86	1137,83	12,80
	G	2,07	0,81	4,95	4,03	0,61	0,31	7,48	1,74	45,61	551,41	6,05
	C	0,99	0,15	3,46	2,15	0,46	0,12	5,76	0,95	37,58	292,70	2,61
	M	1,71	0,83	10,01	1,14	0,70	0,24	7,91	5,44	37,25	364,40	10,39
	R	2,19	0,39	8,17	6,07	1,62	0,56	15,62	4,16	449,78	859,80	12,05
	Total	28,13	3,65	40,64	20,69	5,79	2,67	99,10	16,40	931,09	3206,14	43,90
T 3	F	21,17	1,43	10,10	6,39	2,06	1,45	60,99	4,24	253,98	1067,47	13,64
	G	2,62	0,85	5,26	2,86	0,57	0,29	8,22	2,30	96,08	502,94	7,38
	C	0,71	0,11	1,97	1,47	0,28	0,09	5,00	0,71	44,54	232,43	2,01
	M	0,86	0,69	7,17	0,99	0,50	0,42	7,07	3,92	38,42	256,88	10,67
	R	2,37	0,34	5,19	4,04	0,83	0,47	16,78	4,46	629,74	545,93	13,07
	Total	27,72	3,43	29,69	15,74	4,25	2,73	98,07	15,63	1062,76	2605,66	46,79
T 4	F	24,78	1,29	10,88	8,88	2,38	1,38	63,84	4,11	407,35	2141,26	16,28
	G	3,31	0,63	4,69	2,85	0,55	0,44	9,13	1,96	60,10	805,39	7,68
	C	1,01	0,14	2,26	2,36	0,36	0,13	6,34	0,44	29,38	467,49	2,11
	M	1,08	0,61	8,47	1,18	0,64	0,49	10,01	4,72	42,74	350,75	9,69
	R	1,78	0,38	5,73	4,30	1,43	0,63	11,30	4,01	764,60	1076,00	10,03
	Total	31,96	3,05	32,03	19,57	5,36	3,08	100,62	15,24	1304,18	4840,90	45,79
T 5	F	26,01	1,88	15,11	10,21	2,78	1,70	104,47	5,76	473,56	2637,03	22,72
	G	4,15	1,34	8,98	3,82	0,81	0,50	14,64	2,63	75,12	1229,77	10,98
	C	1,32	0,23	4,09	2,51	0,48	0,17	10,29	0,65	58,09	631,88	3,47
	M	3,29	1,24	13,87	1,51	0,91	0,70	10,45	5,38	68,03	472,68	14,68
	R	4,71	0,68	9,63	6,36	1,35	0,94	28,09	8,00	1256,82	821,30	25,10
	Total	39,48	5,38	51,68	24,40	6,32	4,00	167,96	22,41	1931,62	5792,67	76,95

*(F) folha, (G) galho, (C) casca, (M) madeira e (R) raiz.

As maiores quantidades de nutrientes acumulados na biomassa, aos 12 meses, foram observadas nas folhas, seguido pela madeira. O elemento que obteve o maior acúmulo nas folhas foi o N, onde no T 5 verificou-se 26,01 kg ha⁻¹, já para o T 1, o valor observado foi de 16,06 kg ha⁻¹. Os tratamentos T 2, T 3, T 4 e T 5 apresentaram a mesma tendência de acúmulo de nutrientes aos 12 meses, onde; K > N > Ca > Mg > P > S. Já no T 1 a sequência foi K > N > Ca > Mg > S > P. A tendência dos micronutrientes foi a mesma para todos os tratamentos; Mn > Fe > B > Zn > Cu.

Em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* no bioma Pampa, aos 4 anos o nutriente com maior acúmulo na biomassa foi o Ca na casca com 180 kg ha⁻¹, seguido pelo N nas folhas com 94 kg ha⁻¹, e o micronutriente mais acumulado foi o Mn na casca, com 13.623 g ha⁻¹ (GUIMARÃES et al., 2015).

Frantz (2016), ao determinar o acúmulo de nutrientes na biomassa acima do solo para um híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, aos 78 meses em solo arenizado no bioma Pampa, encontrou o maior acúmulo na biomassa total para o Ca com 146,8 kg ha⁻¹, nas folhas ocorreu o maior acúmulo de N com 60,6 kg ha⁻¹.

Na Tabela 13 verifica-se a concentração de macro e micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa aos 24 meses.

Tabela 13 –Concentração de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos de *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 24 meses.

		(continua)										
Trat	Comp	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
T1	F*	10,89a	0,77a	6,23a	8,36a	2,41a	0,96a	27,54a	2,36a	184,53a	768,59a	8,94a
	G	2,93a	0,35a	3,85a	8,39a	1,36a	0,22a	9,52a	1,58a	50,08b	726,07a	7,34a
	C	2,34a	0,52a	5,29a	14,14a	1,79ab	0,19a	9,02b	1,65a	48,55b	801,61a	6,06a
	M	0,87a	0,23a	2,20a	0,79b	0,42a	0,20ab	3,70a	1,68a	40,10a	171,56a	10,89a
	R	1,72a	0,21a	2,53a	1,89a	0,96a	0,20a	6,05a	1,82a	346,90a	371,82a	6,41a
T2	F	10,71a	0,93a	7,35a	7,57a	2,41a	1,04a	62,85a	2,12a	224,70a	909,50a	8,80a
	G	1,89a	0,44a	4,03a	6,85a	1,11a	0,28a	10,63a	1,55a	115,25a	798,02a	7,12a
	C	1,97a	0,55a	6,32a	10,36a	1,51b	0,24a	10,78ab	2,06a	81,15ab	958,24a	7,30a
	M	0,23a	0,27a	2,91a	1,11ab	0,34a	0,23a	3,42a	1,71a	38,55a	225,03a	8,60a
	R	1,33a	0,30a	2,98a	3,31a	1,42a	0,27a	7,17a	3,23a	668,13a	291,22a	30,71a

											(conclusão)	
T3	F	10,98a	0,86a	7,91a	7,17a	2,60a	0,92a	65,12a	2,30a	195,90a	772,33a	8,48a
	G	1,11a	0,42a	3,99a	6,43a	0,86a	0,24a	7,52a	1,62a	62,58ab	721,12a	7,30a
	C	2,50a	0,51a	6,35a	12,80a	1,70b	0,25a	11,41ab	2,29a	99,56a	961,57a	7,38a
	M	0,41a	0,21a	2,83a	1,65a	0,31a	0,23ab	3,66a	2,01a	28,11a	182,83a	8,25a
	R	0,82a	0,30a	2,78a	2,65a	0,79a	0,24a	4,40a	2,76a	475,00a	275,19a	13,48a
T4	F	9,98a	0,85a	7,04a	8,39a	2,56a	0,90a	64,17a	1,95a	217,10a	835,99a	8,11a
	G	1,50a	0,42a	4,55a	8,79a	1,12a	0,24a	8,08a	1,77a	59,78b	717,17a	7,65a
	C	1,64a	0,52a	5,24a	14,95a	1,83ab	0,23a	11,63ab	1,77a	83,62ab	999,77a	6,40a
	M	0,12a	0,21a	2,31a	1,23ab	0,31a	0,20ab	2,91a	1,60a	26,13a	147,54a	6,63a
	R	1,19a	0,21a	3,40a	3,35a	1,11a	0,25a	4,29a	2,65a	384,40a	260,54a	8,69a
T5	F	13,19a	0,94a	8,14a	6,61a	2,50a	1,07a	79,37a	2,29a	227,27a	735,42a	9,19a
	G	2,36a	0,47a	4,91a	7,88a	1,46a	0,26a	10,26a	2,28a	74,38ab	726,98a	9,27a
	C	2,34a	0,57a	6,04a	13,57a	2,46a	0,23a	14,99a	2,14a	59,92ab	826,89a	7,41a
	M	0,87a	0,22a	2,75a	0,78b	0,40a	0,19b	3,28a	1,86a	37,96a	147,54a	8,30a
	R	1,72a	0,31a	2,60a	4,27a	1,85a	0,26a	10,47a	3,00a	630,37a	195,14a	46,92a

*(F) folha, (G) galho, (C) casca, (M) madeira e (R) raiz.

Onde. Letras iguais na vertical, não diferem estatisticamente entre os tratamentos, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

As maiores concentrações aos 24 meses foram observadas para o Ca, na casca, nos tratamentos T 1, T 3, T 4 e T 5, já no T 2 observou-se a maior concentração para o N nas folhas. O Ca também apresenta concentrações significativas nas folhas e nos galhos. O macro elemento com as menores concentrações nos diferentes componentes da biomassa é o P, seguido pelo S, o Mg também apresenta baixa concentração em todos os tratamentos.

O micronutriente com as maiores concentrações aos 24 meses é o Mn em todos os tratamentos, principalmente na casca, folhas e galhos. As maiores concentrações de B são verificadas nas folhas. O micronutriente com as menores concentrações é o Cu.

As menores concentrações de N, Ca e Mg são verificadas na madeira nos diferentes tratamentos avaliados aos 24 meses, neste componente também estão as menores concentrações de B, Fe, além de Mn.

Conforme Dick et al. (2016), as maiores concentrações de macro nutrientes no *Eucalyptus dunnii* aos 60 meses, cultivado no bioma Pampa, foram observadas para N nas folhas com 17,38 g kg⁻¹, seguido pela concentração de Ca na casca com 16,2 g kg⁻¹.

Em povoamentos de *Eucalyptus benthamii*, cultivado no bioma Pampa as maiores concentrações de macro nutrientes estão nas folhas, em seguida os frutos apresentam grande concentração nutricional. Para o Cu a concentração é maior nos frutos do que nas folhas (SOUZA, 2015).

Na Tabela 14 verifica-se a quantidade de macro e micronutrientes nos componentes da biomassa aos 24 meses. O maior acúmulo de micronutriente na biomassa foi observado para o Mn no T 5 com 12.664,35 g ha⁻¹.

Tabela 14 –Quantidade de macro e micronutrientes nos componentes das árvores dos diferentes tratamentos com *Eucalyptus urophylla*, em solo arenizado no município de Maçambará – RS, aos 24 meses.

(continua)

Trat	Comp	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
kg ha ⁻¹								g ha ⁻¹				
T1	F	29,10	2,06	16,66	22,36	6,43	2,56	73,61	6,32	493,26	2054,46	23,90
	G	5,34	0,64	7,01	15,28	2,48	0,40	17,33	2,88	91,15	1321,62	13,36
	C	2,88	0,64	6,51	17,39	2,21	0,24	11,09	2,03	59,70	985,78	7,45
	M	6,49	1,74	16,41	5,91	3,11	1,50	27,61	12,51	299,04	1279,39	81,20
	R	11,42	1,40	16,83	12,60	6,37	1,30	40,25	12,10	2307,27	2472,99	42,64
	Total	55,22	6,49	63,41	73,53	20,61	6,00	169,90	35,83	3250,42	8114,24	168,55
T2	F	31,02	2,68	21,28	21,93	6,99	3,00	181,99	6,13	650,67	2633,66	25,47
	G	7,01	1,63	14,95	25,39	4,12	1,04	39,44	5,75	427,45	2959,84	26,42
	C	3,62	1,01	11,59	19,01	2,76	0,45	19,77	3,78	148,83	1757,48	13,39
	M	3,14	3,67	39,33	14,99	4,61	3,16	46,17	23,09	520,75	3039,90	116,15
	R	10,02	2,23	22,54	25,02	10,70	2,04	54,15	24,44	5048,22	2200,35	232,04
	Total	54,80	11,23	109,69	106,33	29,18	9,69	341,52	63,19	6795,91	12591,22	413,47
T3	F	35,48	2,79	25,57	23,18	8,38	2,97	210,38	7,42	632,87	2495,08	27,39
	G	4,10	1,55	14,80	23,85	3,18	0,88	27,88	6,02	231,98	2673,39	27,07
	C	5,78	1,17	14,69	29,60	3,94	0,58	26,41	5,31	230,35	2224,68	17,06
	M	6,06	3,02	41,53	24,22	4,56	3,30	53,62	29,51	412,22	2680,94	121,01
	R	7,17	2,61	24,21	23,12	6,90	2,08	38,36	24,07	4140,76	2398,94	117,47
	Total	58,59	11,14	120,79	123,97	26,97	9,81	356,64	72,34	5648,19	12473,03	310,00
T4	F	26,70	2,28	18,82	22,45	6,85	2,41	171,67	5,22	580,80	2236,50	21,69
	G	4,51	1,27	13,65	26,34	3,34	0,72	24,21	5,30	179,15	2149,23	22,94
	C	3,25	1,04	10,41	29,74	3,65	0,46	23,13	3,51	166,28	1987,99	12,73
	M	1,72	3,09	34,02	18,07	4,55	3,00	42,75	23,48	384,23	2169,16	97,41
	R	9,08	1,59	25,96	25,58	8,46	1,87	32,82	20,23	2938,84	1991,90	66,44
	Total	45,27	9,27	102,87	122,17	26,86	8,47	294,58	57,74	4249,31	10534,78	221,20

(conclusão)												
	F	53,54	3,81	33,03	26,83	10,15	4,34	322,08	9,30	922,20	2984,19	37,28
	G	10,18	2,02	21,23	34,05	6,31	1,11	44,33	9,83	321,30	3140,53	40,02
T5	C	6,01	1,50	15,77	35,45	6,44	0,60	39,14	5,59	156,53	2159,98	19,36
	M	11,68	3,76	46,60	13,30	6,78	3,22	55,59	31,53	643,17	2500,03	140,56
	R	35,62	2,98	25,08	41,10	17,78	2,52	100,86	28,85	6071,91	1879,62	451,92
	Total	117,05	14,07	141,70	150,72	47,45	11,78	562,01	85,10	8115,11	12664,35	689,14

*(F) folha, (G) galho, (C) casca, (M) madeira e (R) raiz.

As maiores quantidades de nutrientes na biomassa aos 24 meses, foram observadas para o tratamento T 5, onde o Ca foi o elemento que apresentou o maior acúmulo com $150,72 \text{ kg ha}^{-1}$, seguido pelo K com $141,70 \text{ kg ha}^{-1}$, onde as maiores quantidades estão na casca, galhos, folhas e raízes, na madeira verificam-se as menores quantidades. Já o micronutriente que apresentou a maior quantidade foi o Mn com $12.664,35 \text{ g ha}^{-1}$.

As menores quantidades foram observadas para o tratamento T 1, onde o Ca também foi o elemento com o maior acúmulo, representando $73,53 \text{ kg ha}^{-1}$. Onde o Mn acumulado na biomassa foi de $8.114,24 \text{ g ha}^{-1}$.

Para os macro nutrientes, aos 24 meses, a tendência de acúmulo dos elementos na biomassa para os tratamentos T 1, T 3, T 4 e T 5 foi a mesma; $\text{Ca} > \text{K} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, Já no T 2 a sequência foi; $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$. Para micronutrientes os tratamentos T 2 e T 5 apresentaram o mesmo ordenamento; $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{B} > \text{Cu}$. Já para os tratamentos T 3, T 4 e T 1 verificou-se a seguinte sequência; $\text{Mn} > \text{Fe} > \text{B} > \text{Zn} > \text{Cu}$.

Conforme Silva (2014), o *Eucalyptus dunnii*, aos quatro anos, cultivado em Alegrete – RS acumulou na biomassa $379,70 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca, com 33,87% presente na casca. Já o segundo elemento com maior acúmulo foi o N com $211,51 \text{ kg ha}^{-1}$, mais presente nas folhas e na madeira.

O híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, cultivado no bioma Pampa, aos sete anos, apresentou $590,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca, com as maiores quantidades presentes na casca. Os menores acúmulos foram observados para S com $68,4 \text{ kg ha}^{-1}$ e o P com $84,3 \text{ kg ha}^{-1}$. Para os micronutrientes as maiores quantidades foram observadas para o Mn com $38.696,2 \text{ g ha}^{-1}$ (GUIMARÃES, 2016).

De acordo com Dick et al. (2017), o micronutriente com maior acúmulo no *Eucalyptus dunnii* estabelecido no bioma Pampa é o Mn na casca, com $10.495,81 \text{ g ha}^{-1}$. Nas raízes foram verificadas as maiores quantidades de B com $167,18 \text{ g ha}^{-1}$.

4.4 CONCLUSÕES

O maior percentual de biomassa na madeira aos 12 meses, foi observado para o T 3 com 28,80%, seguido pelo T 2 com 28,30%, já o menor acúmulo de biomassa na madeira foi observado para T 1 com 22,00%. No T 1 foi observado o maior acúmulo de biomassa nas raízes, com 33,40% da biomassa total nesse componente.

O maior percentual de biomassa acumulado na madeira aos 24 meses foi determinado para o T 4 com 49,00%, e o menor acúmulo observado para o T 1 com 37,60% da biomassa total na madeira. O maior acúmulo de biomassa nas raízes foi observado para o T 1 com 33,50% da biomassa total acumulada nesse componente.

Os maiores acúmulos de nutrientes aos 12 meses foram de K seguido pelo Ca para todos os tratamentos. O maior acúmulo de K foi verificado para o T 5 com 51,68 kg ha⁻¹, a menor quantidade de K foi observada para o T 1 com 26,97 kg ha⁻¹.

É possível concluir que a fertilização exerce influência significativa na produção de biomassa e nas variáveis dendrométricas do *Eucalyptus urophylla* em solo arenizado no bioma Pampa. Dessa forma, com base nos resultados deste estudo, em médio e longo prazo, deve-se elaborar um protocolo de aplicação de fertilizantes para assegurar a sustentabilidade das plantações florestais em solos arenizados.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V. V. H. et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Folha de Viçosa, 2002.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.(Eds.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990.p.127-186.

BEULCH, L. S. **Biomassa e Nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* smith submetido ao primeiro desbaste**. 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

CORRÊA, R. S. **Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* estabelecido no bioma Pampa**. 2011. 99 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

DICK, G. et al. Quantificação da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido no Bioma Pampa. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v. 4, p.1-9, 2016.

_____. Micronutrients and biomass in *Eucalyptus dunnii* Maiden stand. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, p.1-7, 2017.

DINARDI, A. J. **Viabilidade técnica e econômica de povoamentos de *Eucalyptus* spp. sob diferentes espaçamentos visando a produção de biomassa para energia**. 2014, 102 p. (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita filho”, Botucatu, 2014.

FRANTZ, B. C. **Biomassa e estoque de nutrientes em *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em área arenizada do bioma Pampa – RS**. 2016. 55 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

GATTO, A. et al. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo- planta em um plantio de *Eucalyptus* sp. no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 879-887, 2014.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição de árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.) **Nutrição e Fertilização Florestal**. IPEF, Piracicaba, 2000. 472p.

GUIMARÃES, C. C. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no Pampa gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39 p. 873-882, 2015.

GUIMARÃES, C. C. **Ecoeficiência e sustentabilidade nutricional em povoamentos de eucaliptos no bioma Pampa**. 2016. 100 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

HARRISON, R. B. et al. Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 133, p. 167-177, 2000.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Dados e Estatística do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2016**. p. 80, 2017. Disponível em: <http://www.iba.org.br/pt>. Acesso em: 12 out. 2017.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, p. 181-196, 1999.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e Textos, 2000. 531p.

LONDERO, E. K. **Calibração do Modelo 3-PG para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba, RS.** 2011, 68 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. Cap. 4, p. 171-224.

MORAIS, V. M. **Dinâmica de crescimento de eucalipto clonal sob diferentes espaçamentos, na região noroeste do estado de Minas Gerais.** 2006. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2006.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas.** Ed. UNESP, São Paulo, 2008. 407p.

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

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F. Desenvolvimento do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus tereticornis* consorciado com plantas de cobertura, em solos degradados por arenização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n.1, p. 84-89, 2008.

RYAN, M. G. et al. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1695-1703, 2010.

SAS. A simple regression model with correction of heteroscedasticity. Cary: **SAS Institute**, 2003.

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**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 45-53, jan./jun. 2001.

SILVA, J. C. M. **Ciclagem biogeoquímica de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* Maiden em uma microbacia hidrográfica experimental do bioma Pampa.** 2014. 111 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SILVA, P. H. M. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratado com diferentes doses de lodos de esgoto úmido e seco, condicionados com polímeros. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, mar. 2008.

SOUZA, H. P. **Caracterização nutricional do *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage em área de produção de sementes.** 2015. 52 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais.** 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, (Boletim Técnico, 5), 1995.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Biomassa e Exportação de Nutrientes pela Colheita do Eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil.** editora da UFSM. Santa Maria, 2015.

5 RECOMENDAÇÕES

As plantações florestais com eucaliptos nos solos arenizados, requerem algumas técnicas de manejo para que o resultado seja positivo, especialmente no momento da implantação do povoamento.

O plantio das mudas deve ser preferencialmente nos meses do outono, entre o final de abril e início de junho. Momento em que os ventos diminuem significativamente na região do estudo, o que irá favorecer o desenvolvimento inicial do povoamento, que sofre com a escarificação das folhas quando existe grande movimentação das partículas do solo.

As linhas do preparo de solo devem ser feitas no sentido contrário a declividade natural do terreno, diminuindo assim o risco dos processos erosivos. A escarificação deve ser feita com auxílio de trator agrícola leve e no mesmo dia que será realizado o plantio, para que a linha da subsolagem não seja apagada pelo revolvimento das partículas de solo com o vento.

As fertilizações devem ser feitas de forma manual e parceladas para os elementos com maior mobilidade no solo, como é o caso do N, K e alguns micronutrientes. No caso do P a aplicação poderá ser feita em dose única. Todas as adubações devem ser realizadas em covetas laterais e incorporadas ao solo, diminuindo os efeitos de lixiviação, volatilização ou mineralização dos elementos.

O trânsito de máquinas na área deve ser evitado ao máximo, buscando realizar as fertilizações de forma manual, visando preservar a fragilidade da estrutura do solo.

A condução da brotação pode ser uma boa opção de manejo para o *Eucalyptus* nos solos arenizados, diminuindo assim, o custo de implantação da segunda rotação e acelerando o crescimento inicial.

Deve-se ampliar a base genética em experimentação nos núcleos arenizados, visando encontrar materiais melhor adaptados a esse ambiente, que possuam maior eficiência nutricional, produzindo maior quantidade de biomassa com menor utilização de fertilizantes.