

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

Túlio Barroso Queiroz

**CRESCIMENTO, BIOMASSA E NUTRIENTES DO *Eucalyptus saligna*
Smith SOB MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA E
FERTILIZAÇÃO**

**Santa Maria, RS
2016**

Túlio Barroso Queiroz

**CRESCIMENTO, BIOMASSA E NUTRIENTES DO *Eucalyptus saligna* Smith SOB
MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA E FERTILIZAÇÃO**

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

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

Santa Maria, RS
2016

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

Queiroz, Túlio Barroso

CRESCIMENTO, BIOMASSA E NUTRIENTES DO *Eucalyptus saligna* Smith SOB MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA E FERTILIZAÇÃO / Túlio Barroso Queiroz.-2016.

73 p.; 30cm

Orientador: Mauro Valdir Schumacher

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2016

1. *Eucalyptus saligna* 2. Produção de biomassa 3. Aporte de nutriente em povoamentos florestais 4. Resíduos da colheita florestal I. Schumacher, Mauro Valdir II. Título.

Túlio Barroso Queiroz

**CRESCIMENTO, BIOMASSA E NUTRIENTES DO *Eucalyptus saligna* Smith SOB
MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA E FERTILIZAÇÃO**

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

Aprovado em 15 de julho de 2016:


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


Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)


Márcio Viera, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2016

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais (Geraldino e Edis)
fonte dos meus valores e caráter e às
minhas irmãs (Thaís, Maira e Marina)*

EU DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal e a CAPES pelo conhecimento e formação.

Ao Prof. Titular Dr. rer. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher, pela confiança, apoio, orientação e amizade.

À Empresa Celulose Rio Grandense – CMPC, pela disponibilização da área de estudo e recursos para realização do trabalho, em especial ao MSc Eng. Elias Frank Araújo.

Ao Dr. Eng. Florestal Rudi Witschoreck do Laboratório de Ecologia Florestal – UFSM, pela ajuda e amizade.

Ao Dr. Hamilton Luiz Munari Vogel e Dr. Márcio Viera por aceitarem participar e colaborar neste trabalho.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Florestal, em especial ao Vitor Hugo Braga, Aline Aparecida Ludvichak, Angélica Malheiros, Bernardo Corso Frantz, Jorge Roberto Diefenthaeler, Kristiana Fiorentin dos Santos, Grasielle Dick, Catarine Barcellos Consensa, Claudinei Garlet, Claudiney Guimarães, Dione Richer Momolli, Huan Pablo de Souza, Joel Carvalho dos Santos, Ticiéli Dagostini, pela ajuda no processamento e análises químicas dos dados de campo, pelo companheirismo e amizade.

Aos amigos Cyro Favalessa e Pierre Bellé pelas valiosas discussões e suporte nas análises estatísticas.

Aos amigos Rafael e Cinthya por terem sido parte da caminhada até aqui e compartilharem suas experiências mesmo que em áreas distintas.

Aos amigos e parceiros do grupo “P da Pós” (Camila, Carline, Elenice, Fernanda Marques, Fernando Saccol, Gustavo, Henrique Pintton, Henrique Weber, Juliana, Leka, Letícia, Lorena, Paula, Thairini, Verônica e Victor) que sempre estiveram prontos para ajudar, estudar e compartilhar bons momentos.

Aos meus familiares e todos os amigos, em especial aqueles que o Rio Grande do Sul possibilitou conhecer.

“Tudo acontece na hora certa. Tudo acontece, exatamente quando deve acontecer.”

(Albert Einstein)

RESUMO

CRESCIMENTO, BIOMASSA E NUTRIENTES DO *Eucalyptus saligna* Smith SOB MANEJO DOS RESÍDUOS DA COLHEITA E FERTILIZAÇÃO

AUTOR: Túlio Barroso Queiroz

ORIENTADOR: Mauro Valdir Schumacher

A silvicultura intensiva tem proposto à máxima utilização dos recursos produzidos em ecossistemas florestais, no entanto, estudos que avaliem o manejo dos resíduos da colheita e a reposição dos nutrientes via fertilização ainda carecem de informações sobre a sustentabilidade nutricional no sistema. Diante disto, o presente estudo teve como objetivo avaliar o crescimento, a biomassa e os nutrientes em plantios jovens de *Eucalyptus saligna*. O experimento foi conduzido no Horto Florestal da Barba Negra, localizado no município Barra do Ribeiro/RS, empregando um delineamento em blocos ao acaso com 3 repetições. Foram utilizados 4 tratamentos: T1= manutenção dos resíduos de colheita na área de cultivo, T2= remoção dos resíduos, sem reposição nutricional, T3= remoção dos resíduos e reposição de 50% da quantidade de nutrientes removidos com o resíduo e T4= remoção dos resíduos e reposição de 100% dos nutrientes removidos com o resíduo. Analisou-se os atributos químicos e estimou-se o estoque de nutrientes no solo aos 15 meses de plantio. Para a avaliação dendrométrica, aferiu-se o DAP e altura total das árvores aos 7, 12, 18 e 22 meses de idade. O Índice de Área Foliar e a biomassa acima do solo foram determinados tendo como referência o DAP médio das árvores em cada uma das condições de cultivo. A eficiência de utilização nutricional (EUN) foi calculada pela razão entre a biomassa e a quantidade de nutriente de cada componente da biomassa. A CTC efetiva, na camada de 20-40 cm de profundidade foi o único atributo químico do solo que apresentou diferença significativa, com maior teor na condição de remoção dos resíduos e reposição de 100% dos nutrientes removidos. O maior crescimento do *Eucalyptus saligna* foi observado com a remoção dos resíduos e reposição de 100 % dos nutrientes. O Índice de Área Foliar e a biomassa acima do solo não sofreram efeito do manejo dos resíduos e a reposição dos nutrientes aos 22 meses de idade. A alocação de biomassa acima do solo seguiu a mesma ordem: madeira > galho verde > folhas > casca > galhos secos. No entanto, os tratamentos influenciaram a ordem do acúmulo de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa. A madeira foi o componente que apresentou, para a maioria dos nutrientes analisados, maior valor na EUN.

Palavras-Chave: Estoque de nutrientes. Nutrição florestal. Solos florestais.

ABSTRACT

GROWTH, BIOMASS AND NUTRIENTS OF *Eucalyptus saligna* Smith ON HARVEST RESIDUE MANAGEMENT AND FERTILIZATION

AUTHOR: Túlio Barroso Queiroz
ADVISER: Mauro Valdir Schumacher

Intensive forestry has proposed the maximum use of resources produced in forest ecosystems, however, studies evaluating the management of harvesting residues and the replacement of nutrients in the form of fertilizers still lack information to assess the nutritional sustainability in the system. Given this, the present study aimed to evaluate the growth, biomass and nutrients for *Eucalyptus saligna* to 22 months age. The experiment was conducted in the Horto Florestal da Barba Negra, located in the city Barra do Ribeiro / RS, applying a randomized block design with 3 repetitions. Four treatments were applied: T1 = presence of harvesting residues in the field of cultivation, T2 = removal of the harvesting residue without nutritional replacement, T3 = removal of harvesting residues and replacement of 50% of the nutrients amount removed with the residues, and T4 = removal of harvesting residues and replacement of 100% of the nutrients amount removed with the residues. The chemical characteristics were evaluated, and the soil nutrients stock during 15 months of planting was estimated. For dendrometric evaluation, it was measured the DBH and the total height of the trees at 7, 12, 18 and 22 months of age. The leaf area index and aboveground biomass were determined using as reference the average DBH of trees in each of the growing conditions. The nutrient use efficiency (NUE) was calculated as the ratio between the biomass and the amount of nutrient of each biomass component. The effective CEC, in the layer of 20-40 cm depth was the only chemical attribute of the soil that showed significant difference, with higher levels in the condition of waste removal and replacement of 100% of the nutrients. The greatest growth of *Eucalyptus saligna* was observed with waste removal and replacement of 100% of the nutrients. The leaf area index and aboveground biomass were not affected by waste management and replacement of nutrients at 22 months age. The allocation of aboveground biomass followed the same order: wood > green branches > leaf > bark > dry branches. However, the treatments influenced the order of nutrient accumulation in the different components of biomass. Wood was the component that showed higher values of NUE for most nutrients analyzed.

Keywords: Nutrients stock. Forest nutrition. Forest Soils.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros químicos do solo da área experimental em Barra do Ribeiro/RS.....	24
Tabela 2 - Quantidade de nutrientes presente nos resíduos da colheita de <i>Eucalyptus saligna</i> de primeira rotação cortados aos 7 anos de idade.	26
Tabela 3 - Quantidade de nutrientes aplicados via fertilização na área experimental	28
Tabela 4 - Procedimentos analíticos utilizados nas amostras de solo.	30
Tabela 5 - Descrição dos procedimentos analíticos utilizados na determinação dos nutrientes, em amostras de tecido vegetal.....	31
Tabela 6 - Atributos físicos e químicos do solo na área experimental com o <i>Eucalyptus saligna</i> aos 15 meses de idade.	34
Tabela 7 - Quantidade de nutrientes no solo em área experimental com <i>Eucalyptus saligna</i> aos 15 meses de idade.....	36
Tabela 8 - Crescimento médio do <i>Eucalyptus saligna</i> aos 22 meses de idade cultivado sob manejo dos resíduos da colheita e fertilização em Barra do Ribeiro/RS.....	40
Tabela 9 - Biomassa acima do solo de <i>Eucalyptus saligna</i> aos 22 meses de idade em Barra do Ribeiro/RS.	42
Tabela 10 - Concentração de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa do <i>Eucalyptus saligna</i> , aos 22 meses de idade em Barra do Ribeiro/RS.....	45
Tabela 11 - Quantidade de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa do <i>Eucalyptus saligna</i> aos 22 meses de idade sob efeito do manejo dos resíduos da colheita e fertilização.	49
Tabela 12 - Eficiência de utilização de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa de <i>Eucalyptus saligna</i> , aos 22 meses de idade, sob efeito do manejo dos resíduos e fertilização.	52

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Localização geográfica do município Barra do Ribeiro no Estado do Rio Grande do Sul (Brasil) e em destaque área experimental com plantio de *Eucalyptus saligna*.21
- Figura 2 - Condições climáticas nos meses após plantio (MAP) até a obtenção de biomassa da parte aérea de *Eucalyptus saligna* no município Barra do Ribeiro/RS.23
- Figura 3 - Croqui da distribuição das parcelas experimentais em função dos tratamentos: (T1) manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, (T2) remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, (T3) remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e (T4) remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados.....25
- Figura 4 - Procedimentos de preparo do solo para implantação das mudas de *Eucalyptus saligna* no município Barra do Ribeiro/RS. Em que: A = Colheita; B = Remoção dos resíduos da colheita; C= Fertilização na linha de plantio; D = parcelas com ausência do resíduo; E = parcelas com presença de resíduo.....27
- Figura 5 - Posição dos discos coletados para amostragem de madeira e casca do tronco.30
- Figura 6 - Características dendrométricas de *Eucalyptus saligna* cultivados sob manejo dos resíduos da colheita e fertilização em Barra do Ribeiro/RS.38
- Figura 7 - Proporção dos componentes madeira, casca, galho e folha em relação à biomassa total da parte aérea de *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade.43
- Figura 8 - Concentração média dos nutrientes de *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade que apresentaram efeito significativo do manejo dos resíduos da colheita e reposição de nutrientes na forma de fertilização mineral. .46

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - ASPECTO DA OBTENÇÃO DA ÁREA FOLIAR MÉTODO DO INTEGRADOR ELETRÔNICO DE SUPERFÍCIE (LiCor 3000, LICOR, EUA)	67
APÊNDICE B - ASPECTO DA QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA DO <i>Eucalyptus saligna</i>, AOS 22 MESES DE IDADE. A) seleção da árvore média; B) separação das folhas; C) pesagem das folhas; D) pesagem do fuste; E) descascamento do fuste; F) pesagem dos galhos.	68
APÊNDICE C - ASPECTO DO PREPARO DAS AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE NUTRIENTES DO <i>Eucalyptus saligna</i>, AOS 22 MESES DE IDADE, NO LABORATÓRIO DE ECOLOGIA FLORESTAL (LABEFLO) DA UFSM. A) secagem das amostras; B) amostra em processo de trituração em moinho em moinho com lâmininas do tipo Wiley C) amostras moídas; D) pesagem das amostras; E) análise do teor de nutrientes.	69
APÊNDICE D - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES DE AJUSTE DO CRESCIMENTO DO <i>Eucalyptus saligna</i> AOS 22 MESES DE IDADE. A) ajuste linear; B) ajuste quadrático; C) ajuste cúbico. .	70

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	15
2. 1 <i>Eucalyptus saligna</i>	15
2. 2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA	16
2. 3 APORTE DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS FLORESTAIS	17
2. 4 RESÍDUOS DA COLHEITA FLORESTAL	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3. 1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
3. 2 RELEVO, GEOLOGIA E VEGETAÇÃO	22
3. 3 CLIMA	22
3. 4 SOLO	23
3. 5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	24
3. 6 CARACTERIZAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO POVOAMENTO	26
3. 7 VARIÁVEIS ANALISADAS	28
3. 7. 1 Crescimento do eucalipto.....	28
3. 7. 2 Quantificação do estoque de nutrientes no solo.....	29
3. 7. 3 Amostragem e determinação da biomassa.....	30
3. 7. 4 Quantificação do estoque de nutrientes na biomassa.....	31
3. 7. 5 Eficiência de utilização nutricional (EUN)	32
3. 8 ANÁLISE ESTATÍSTICA	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4. 1 NUTRIENTES DISPONÍVEIS NO SOLO	33
4. 2 CRESCIMENTO DO EUCALIPTO	37
4. 3 ESTOQUE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO.....	41
4. 4 NUTRIENTES NA BIOMASSA ACIMA DO SOLO	43
4. 5 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES	50
5 CONCLUSÕES	53
6 RECOMENDAÇÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICE.....	66

1 INTRODUÇÃO

A maximização do uso dos recursos florestais tem sido crescente nos últimos anos. Este cenário tem desenvolvido ainda mais o setor florestal, devido seu potencial na obtenção de múltiplos produtos. Neste contexto, os resíduos produzidos a partir da colheita florestal são utilizados em modelos intensivos de produção com a redução ou até mesmo retirada de todo material da superfície do solo.

A condução de povoamentos sob essa nova ótica pode estimular uma condição desfavorável para a ciclagem de parte dos nutrientes. Isso ocorre devido o aporte de nutrientes no interior das florestas ser dependente de chuva, poeiras, aerossóis marinhos, serapilheira, resíduos da planta em decomposição (YULE, 2010), fixação biológica, decomposição de raízes e fertilização.

Nas florestas, os nutrientes presentes no solo, além de serem responsáveis por regular a produtividade primária, estão relacionados também com diversos processos ecossistêmicos, estes por sua vez, apresentam heterogeneidade tanto entre como dentro do sistema (WUZBURGER e WRIGHT, 2015). Apesar do fornecimento de nutrientes na forma de fertilizantes químicos ser uma alternativa eficiente para atingir maiores níveis de produtividade (JESUS et al., 2012), os resíduos gerados na atividade de colheita também apresentam um importante papel na disponibilização de minerais e relações ecológicas com o meio.

Dessa forma, pesquisas que retratem a dinâmica nutricional de plantios com a presença/ausência dos resíduos da colheita e a reposição dos nutrientes na forma de fertilização mineral, são essenciais para o manejo sustentável de plantações comerciais.

A hipótese fundamental do trabalho é que a remoção dos resíduos gerados na colheita florestal diminui o crescimento inicial e a produção da biomassa da rotação futura, caso não seja realizada a reposição nutricional.

O presente estudo teve como principal objetivo, avaliar o crescimento, o acúmulo de biomassa e nutrientes de *Eucalyptus saligna* cultivado em diferentes condições de manejo dos resíduos da colheita e reposição de nutrientes, tendo como objetivos específicos os seguintes itens:

- Avaliar o efeito do manejo dos resíduos florestais e da fertilização de reposição sob o estoque de nutrientes disponíveis no solo até 40 cm de profundidade;

- Determinar o efeito do manejo dos resíduos da colheita e reposição de nutrientes sobre o crescimento do *Eucalyptus saligna*;
- Estimar o Índice de Área Foliar e a biomassa acima do solo para as condições de presença e ausência de resíduos com reposição de nutrientes via fertilização;
- Avaliar o estoque de macronutrientes e micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa acima do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2. 1 *Eucalyptus saligna*

O gênero *Eucalyptus* apresenta uma grande diversidade de espécies. O cultivo expressivo de *E. saligna* no Brasil, iniciou no estado de São Paulo no final do ano 1960 com os incentivos fiscais, em função da demanda por lenha e dormentes (GONÇALVES et al., 2013b), sendo essa, uma das espécies mais plantadas no país (STAPE; GONÇALVES; GONÇALVES, 2001).

E. saligna apresenta ocorrência natural no litoral de New South Wales e ao Sul de Queensland, entre as latitudes 26 e 36°S (GUTTIERREZ, 1976). Apresenta boa adaptação e tolerância ao frio (ARNOLD; CLARKE; LUO, 2004), com exigência de temperatura média anual entre 10 e 22°C, precipitação média entre 700 e 2300 mm, e tolerante até 6 meses sem chuva (JOVANOVIĆ e BOOTH, 2002). Em altitudes mais elevadas a espécie apresenta redução no índice de área foliar (IAF), aumento na concentração de carbono e massa foliar específica (ARES e FOWNES, 2000).

A espécie apresenta bom desenvolvimento em Argissolos, Neossolos Flúvicos e solos de origem vulcânica (BOLAND et al., 1984). Contudo, a variação nos grupos de solos é responsável pelo crescimento diferenciado da espécie (TONINI; SCHNEIDER; FINGER, 2004), sendo a adição de N-P-K e B no preparado do solo, responsável por aumentar o diâmetro do coleto da raiz, diâmetro da altura do peito (DAP) e crescimento em altura (MHANDO; MALIONDO; MUGASHA, 1993). Quanto às propriedades físicas e mecânicas da madeira do *E. saligna*, menores valores de retratibilidade são encontrados na região da medula, com valores crescentes nos arredores do tronco e elevado fator anisotrópico (OLIVEIRA e SILVA, 2003).

O *E. saligna*, apresenta destaque, devido interesse tanto da indústria de celulose e papel, quanto produção de chapas de fibra e geração de energia (BERGER et al., 2002), laminação, móveis, estruturas de caixotaria e mourões (PEREIRA et al., 2000). Além disso, suas folhas apresentam óleo essencial que contem principalmente os compostos α -pineno e 1,8 cineol, utilizados como promissores inseticidas e repelentes de insetos de grãos armazenados (BETT et al., 2016).

2. 2 PRODUÇÃO DE BIOMASSA

A produção primária líquida de uma floresta consiste na diferença entre a fotossíntese bruta total e a respiração, podendo ser definida como a matéria orgânica total produzida ao longo do tempo (CLARK et al., 2001). Dentre os fatores que afetam a produção primária de biomassa, tem-se: a precipitação (WU e CHEN, 2012), a evapotranspiração (YUAN et al., 2010; VICENTE-SERRANO et al., 2015), a temperatura atmosférica e a radiação solar (TRAMONTANA et al., 2015).

Características ambientais têm relação com grandes diferenças na estrutura da floresta, de modo que a biomassa de florestas tropicais tem aumentado significativamente em resposta às mudanças climáticas globais (PHILLIPS e LEWIS, 2014). As perturbações passadas sofridas na floresta, cujo efeito continua, apresentam implicações na ciclagem de carbono e nutrientes que respondem conforme o manejo e respostas a mudança do clima (BOND-LAMBERTY et al., 2014).

A silvicultura, em seu conceito moderno, objetiva maior produção de biomassa florestal de forma sustentável, devendo seus estudos reconsiderar as práticas tradicionais e procurar alternativas eficientes para manter eficaz a colheita (EUFRADE JUNIOR et al., 2016). A biomassa acima do solo pode ser determinada através de métodos diretos ou indiretos, sendo o método direto correspondente à amostragem por pesagem, que posteriormente é extrapolada para áreas maiores (ARAÚJO; HIGUCHI; CARVALHO JUNIOR, 1999). Já a determinação por métodos indiretos, consistem em equações que levam em consideração na estimativa, variáveis como diâmetro e altura (DJOMO et al., 2010), ou ainda através do sensoriamento remoto por meio de imagens de satélite (WU et al., 2016).

A quantidade de biomassa no solo das florestas apresenta variação especialmente em função da quantidade de folhas, composição de serapilheira, micro-climas, composição do solo e topografia (PARSONS et al., 2014). O aumento de nutrientes na biomassa ocorre em resposta às características nutricionais de cada espécie, fertilidade do solo e idade do povoamento (SCHUMACHER e POGGIANI, 1993).

Conhecer a distribuição da biomassa em espécies madeireiras consiste em uma importante informação para o manejo e a sustentabilidade das plantações florestais (SCHUMACHER; WITSCHORECK; CALIL, 2011). De acordo com Alves et

al. (2007), a biomassa observada em eucalipto com 4,5 anos de idade é distribuída em: 70% presente no fuste, 13% nos galhos, 9% na casca e 8 % nas folhas. Segundo Silva et al. (2004) os componentes madeira e casca aumentam sua proporção, enquanto que os galhos e as folhas diminuem em função do aumento da idade. De modo geral, para espécies madeireiras, pode-se dizer que a produção de biomassa segue a seguinte ordem: madeira > raízes > galhos vivos > galhos mortos > folhas (BARRICHELO; SCHUMACHER; VOGEL, 2005).

Em povoamento florestal de *E. saligna* com 8,5 anos de idade a biomassa média da espécie pode atingir 106,70 t ha⁻¹, sendo que desse total, 32,53 t ha⁻¹ (30,53%), consiste em resíduos da exploração florestal que pode ser usado para fins energéticos, com poder calorífico correspondente a 4.138 kcal kg⁻¹ (COUTO et al., 1984). No entanto, essa mesma espécie, ao ser estudada em Cambissolo Háplico no Rio grande do Sul (Brasil), apontou que a ausência desse material no solo pode ser responsável por maiores perdas de nutrientes, com balanço nutricional negativo para a rotação seguinte (MAZURANA et al., 2011). Além destes aspectos, o desbaste (MUÑOZ et al., 2008) e a disponibilidade hídrica (GONÇALVES et al., 2013a) são fatores diretamente relacionados com a produção de biomassa.

2. 3 APORTE DE NUTRIENTES EM POVOAMENTOS FLORESTAIS

A silvicultura intensiva tem proposto plantações com materiais genéticos superiores, espaçamentos adequados, irrigação regular, capina e adubação, exercendo, portanto, alta pressão sobre os nutrientes do solo (UMA; SARAVANAN; RAJENDRAN, 2014). A entrada de nutrientes no interior das florestas é influenciada pela chuva, poeiras, aerossóis marinhos, serapilheira e resíduos da planta em decomposição (YULE, 2010).

Os variados regimes de chuva afetam diretamente o processo de decomposição, através da mudança na umidade do solo e atividade microbiana que podem acelerar ou retardar a decomposição, atuando na qualidade da matéria orgânica e no crescimento das plantas (SCHUSTER, 2015). Os nutrientes que apresentam maior concentração na água quando interceptada pelo tronco, são principalmente Ca, Na e K (MACINNIS-NG et al., 2012).

A deposição a partir da atmosfera seca sobre a vegetação também contribui com o fornecimento de nutrientes (SCHROTH et al., 2001). Para regiões próximas

ao mar, as grandes quantidades de Na sob a superfície da planta é reflexo da acumulação de aerossóis de sal (WHITE et al., 2012), que geralmente são acompanhados pelos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} e Cl^- (SOUZA; MELLO; MALDONADO, 2006).

As florestas apresentam um importante papel na absorção de gases poluentes emitidos em sua maioria nas áreas urbanas (VANHALA et al., 2016). Dessa forma o CO_2 , N_2O , CH_4 apresentam significativo impacto no sistema solo-atmosfera (COSTA et al., 2006). No Brasil, isso ocorre devido principalmente o desmatamento de ecossistemas naturais através das queimadas (ARTAXO et al., 2005; FREITAS et al., 2005; MOLLMANN JUNIOR et al., 2015), sendo as plantações de eucalipto capazes de imobilizar pelo menos $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de CO_2 da atmosfera (GATTO et al., 2010).

A quantidade e a composição da serapilheira (órgãos reprodutivos, cascas, galhos, flores, sementes e folhas) variam em função das características do ecossistema, sendo as folhas o componente que mais contribui na transferência de nutrientes da planta ao solo (CHAVE et al., 2010). Este componente pode representar valores próximos a 70% da serapilheira total (MATA; MORENO-CASASOLA; MADERO-VEGA, 2012; TANG et al., 2010).

A composição química das folhas (taninos, fenóis, fibra e celulose), é responsável pela qualidade e teor de nutrientes (ONG; JUAN; YULE, 2015). O rápido processo de decomposição é explicado pela ideal composição química do tecido, com altos teores de N e C, e baixo teor de lignina (LANDRY et al., 2014). Assim, a disponibilidade de nutrientes em sistemas florestais consiste em um importante objeto de estudo para atingir maiores níveis de produtividade (MANZONI et al., 2012).

2. 4 RESÍDUOS DA COLHEITA FLORESTAL

A colheita florestal apresenta alto impacto no armazenamento de matéria orgânica no solo, sendo influenciada pela composição de espécies, ordem taxonômica do solo e tempo desde a colheita (NAVE et al., 2010). Além disso, o material excedente obtidos nesta atividade apresenta diferentes concentrações de nutrientes ao longo do ano, que é resultado da temperatura do ar, pluviosidade (VIERA e SCHUMACHER, 2010), idade do povoamento, material genético,

condições edafoclimáticas e principalmente pelo sistema de colheita (ROCHA et al., 2014).

Conforme a Lei 12.305, resíduos, gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, são classificados no Brasil como resíduos agrossilviculturais (BRASIL, 2010). Tais resíduos podem ser constituídos de casca, folhas e galhos ou quaisquer outros componentes que não apresentem utilidade comercial em um determinado empreendimento (CALDEIRA et al., 2002).

A permanência dos resíduos da colheita florestal apresenta um positivo impacto na quantidade de carbono do solo (EPRON et al., 2015). Em longo prazo, além de aumentar os estoques de carbono, contribui para a fixação de N (JONES et al., 2011), o aumento de nutrientes como Ca e K (SMOLANDER; SAARSALMI; TAMMINEN, 2015), dentre outros, possibilitando melhorar o estado nutricional das árvores e a produtividade do sítio (BELLOTE; DEDECEK; SILVA, 2008).

Além disso, possibilita atingir sustentabilidade no sistema produtivo, com um importante papel na redução do uso de fertilizantes inorgânicos (MOYIN-JESU, 2007). É responsável por minimizar a compactação do solo causada pelo tráfego de veículos florestais (SILVA et al., 2007), e ainda, consiste em uma ótima opção para a gestão de solos salinos, uma vez que fornece energia para os microrganismos sintetizar a matéria orgânica (ELMAJDOUB e MARSCHNER, 2015). Além do mais, possibilita condições adequadas de sobrevivência para populações de decompositores (SEREDA; WOLTERS; BIRKHOFER, 2015).

Helmisaari et al. (2011), apontam que na atividade de desbaste, a colheita de árvores inteiras, sem a manutenção dos resíduos no solo, contribui para a redução no crescimento de povoamentos de pinheiros. No entanto, a adubação compensatória com NPK proporciona incremento igual ao desbaste convencional. Epron et al. (2015) relatam que o aumento dos resíduos da colheita (36%) em uma plantação de eucalipto não promove o acréscimo de C no solo.

Em muitas plantações a remoção dos resíduos da colheita não é comumente praticada devido o alto custo e demorado retorno (KUMARASWAMY et al., 2014). No entanto, a utilização da biomassa florestal na produção bioenergética tem crescido cada vez mais (PAULA et al., 2011) e a geração de energia a partir dos resíduos produzidos pela colheita consiste em uma forma de uso desse material (COUTO et al., 1984)

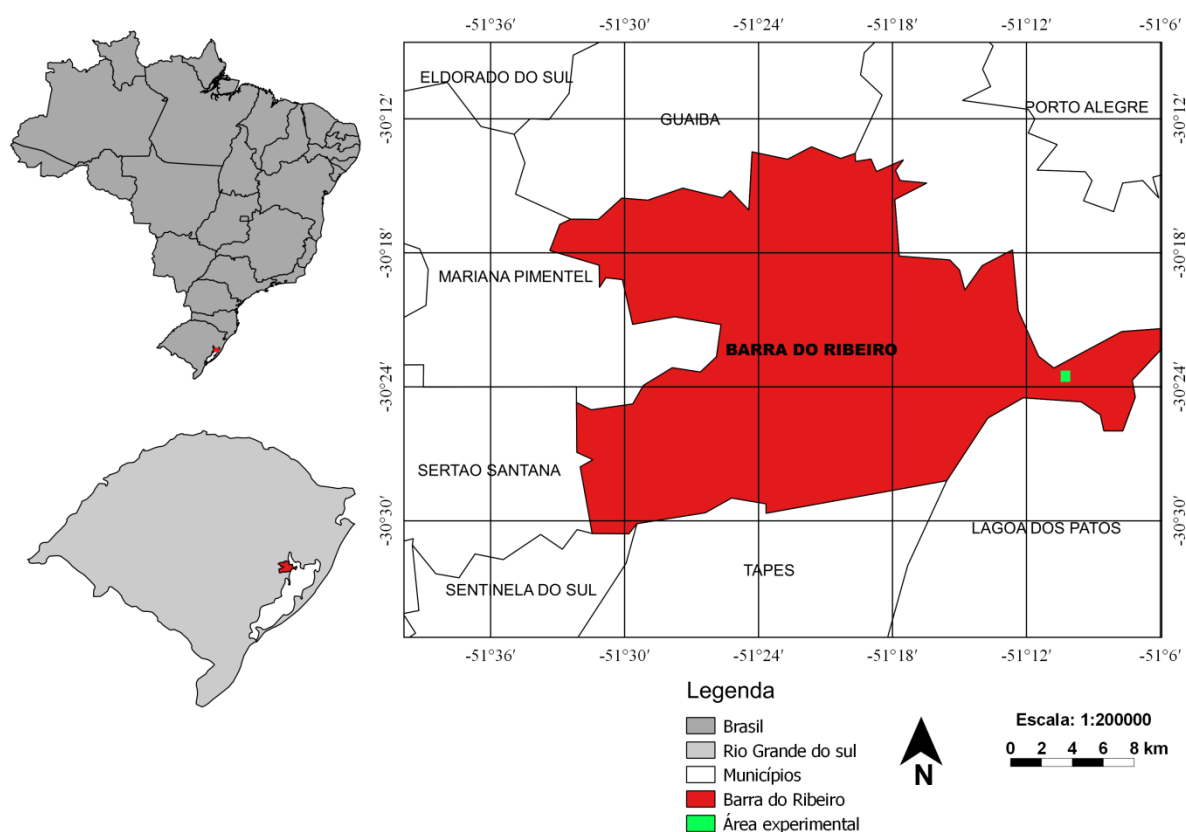
Dessa forma, conhecer a distribuição dos nutrientes na planta, possibilita que o silvicultor adote técnicas de colheita que minimizem a retirada de componentes vegetais da área a fim de favorecer o retorno dos nutrientes ao solo (SANTANA et al., 2008a). Estes contribuem na ciclagem e possibilita elevar a concentração dos mesmos, garantindo, portanto, a devolução dos minerais ao solo (RACHWAL et al., 2007; PAES et al., 2013).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido no Horto Florestal Barba Negra, presente no município Barra do Ribeiro no Estado do Rio Grande do Sul. O experimento está situado nas coordenadas geográficas centrais de 30°24'34,81" latitude Sul e 51°13'17,62" longitude Oeste (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica do município Barra do Ribeiro no Estado do Rio Grande do Sul (Brasil) e em destaque área experimental com plantio de *Eucalyptus saligna*.



Fonte: Do autor.

3. 2 RELEVO, GEOLOGIA E VEGETAÇÃO

O Horto Florestal Barba Negra, apresenta relevo levemente ondulado a ondulado. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2006), o relevo do município é classificado como Planície Costeira Gaúcha.

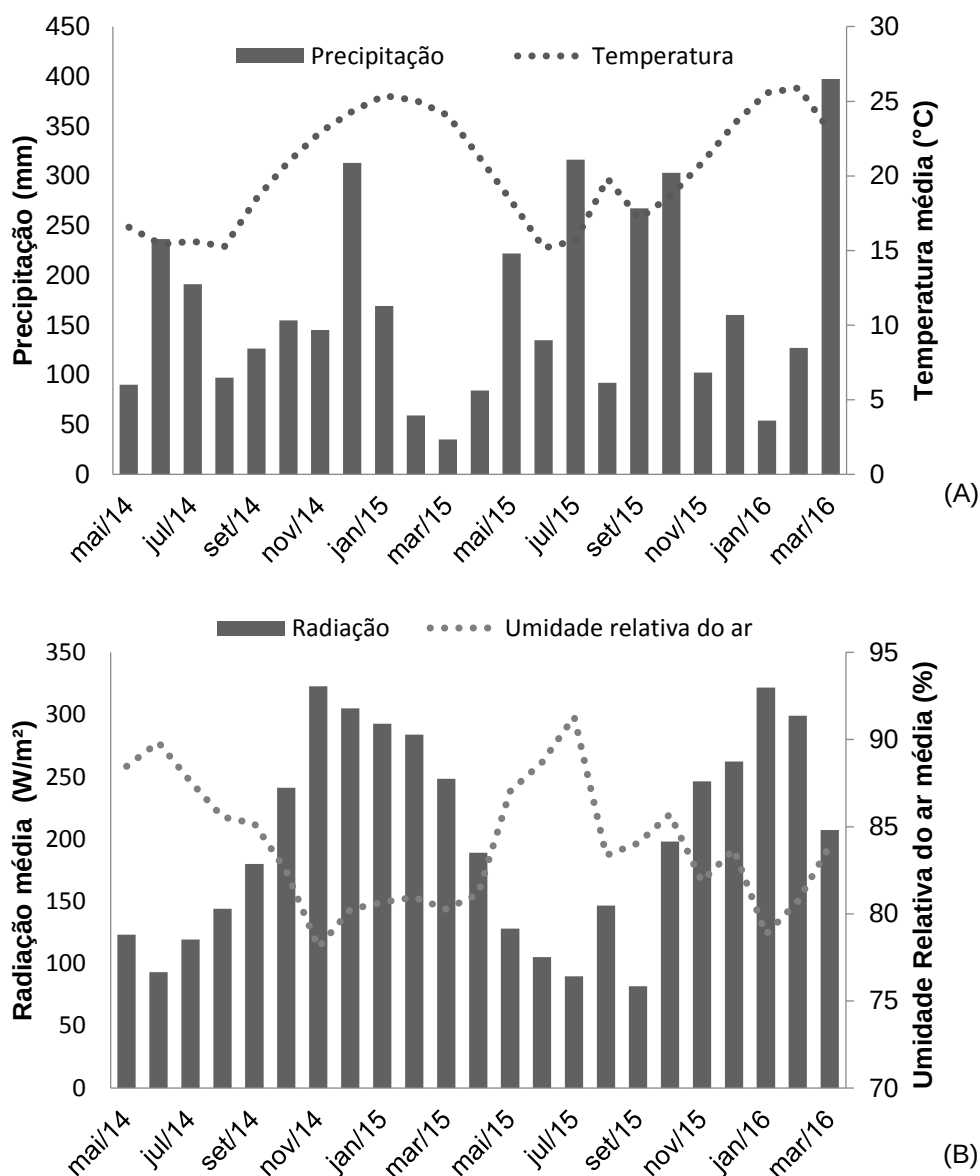
A região conta com diversas plantações do gênero *Eucalyptus* com sub-bosque composto por espécies nativas como *Butia capitata*, *Myrsine umbellata* Mart, *Rumohra adiantiformis*, *Desmodium* sp, dentre outras (CORRÊA; IRGANG; MOREIRA, 2001). De acordo com Araújo (2011) o uso e ocupação da terra no município Barra do Ribeiro conta com a utilização de mais de 50% do seu território com atividades ligadas à agropecuária, seguido da vegetação nativa (20,96%) e silvicultura do eucalipto (18,76%). O bioma Pampa consiste na vegetação natural da região (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004).

3. 3 CLIMA

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo o Cfa, (clima subtropical úmido), com a precipitação e temperatura média anual na região de 1.320 mm e 19,3 °C, respectivamente (WREGE et al., 2013). Durante o período analisado os meses que apresentaram maior precipitação foi dezembro de 2014 (312 mm), julho (316 mm) e Março de 2016 (397 mm). Neste período também foi observado maior temperatura média com variação entre 18 a 22 °C. Os meses que apresentaram menor precipitação média foram: fevereiro, março e abril de 2015, com valores entre 35 a 84 mm (Figura 2A).

Nos meses de dezembro (2014), janeiro, fevereiro e março (2015) são observados maiores valores médios da radiação solar, oscilando entre 322 e 284 W m⁻² e concomitantemente menor umidade relativa do ar, com valores entre 78 e 81% (Figura 2B).

Figura 2 – Condições climáticas nos meses após plantio (MAP) até a obtenção de biomassa da parte aérea de *Eucalyptus saligna* no município Barra do Ribeiro/RS.



Fonte: Dados disponibilizados pela Celulose Rio Grandense (CMPC) – Estação meteorológica: coordenadas: latitude 30° 17'S e longitude 51° 18'O, sendo sua altitude de 12 metros

3. 4 SOLO

O solo típico da região foi caracterizado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Argissolo Vermelho Amarelo distrófico espessarênico. Em março de 2014, foram abertas trincheiras até 100 cm de profundidade, com camadas de 20 em 20 cm, onde foram retiradas amostras que

foram submetidas à análise para quantificação dos atributos químicos e físicos no Laboratório de Ecologia Floresta da Universidade Federal de Santa Maria (Tabela 1).

Tabela 1 - Parâmetros químicos do solo da área experimental em Barra do Ribeiro/RS

Atributos		Profundidade (cm)				
		0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Argila		5	10	13	20	22
MO	%	1,4	0,8	0,7	0,8	0,8
pH (H₂O)		5,1	4,6	4,4	4,4	4,3
Al		0,1	1,1	1,6	2,2	2,3
Ca	cmol _c dm ⁻³	2,1	1,2	0,9	0,8	0,8
Mg		0,5	0,2	0,6	0,9	1,1
P*		9,2	2,4	1,7	1,4	1,6
K*	mg dm ⁻³	67,0	34,2	35,7	32,6	43,7
Al+H		1,5	2,5	3,8	6,0	7,7
CTCefet.	cmol _c dm ⁻³	2,9	2,7	3,1	4,0	4,3
CTCpH 7		4,3	4,1	5,3	7,8	9,6
V		62,1	37,3	30,0	26,1	21,2
M	%	5,5	44,4	52,3	53,7	54,5
S		3,6	3,8	3,9	4,7	4,9
B	mg dm ⁻³	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6
Cu		0,9	1,4	1,3	1,6	1,6
Zn		0,9	0,3	0,2	0,3	0,3

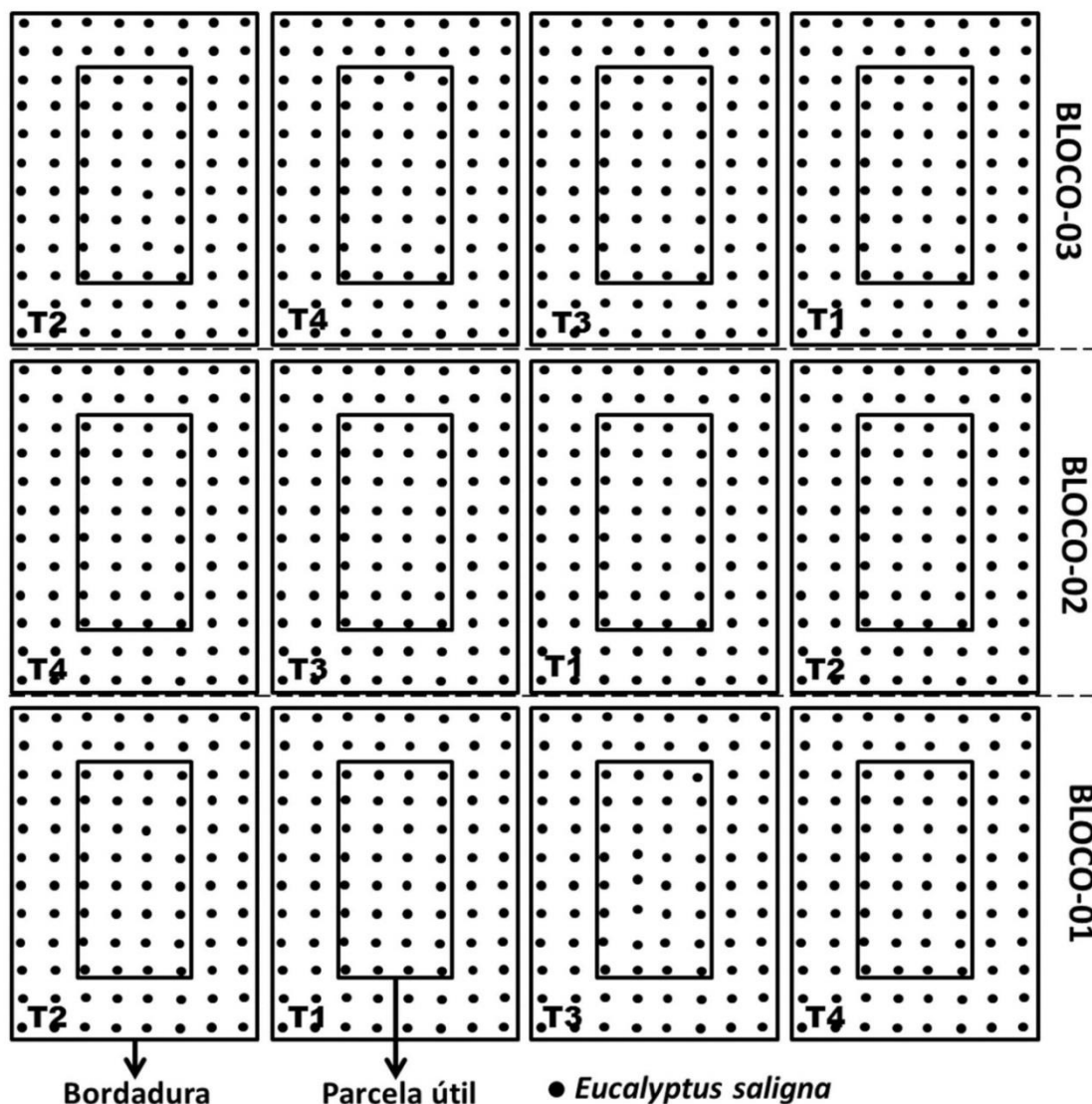
*Método de extração utilizado pelo laboratório através do extrator Melich I.
Fonte: Consensa (2015).

3. 5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado consistiu em blocos inteiramente casualizados, com 4 tratamentos e 3 repetições. As parcelas experimentais possuem uma área total de 900 m² (30 m x 30 m), com 96 plantas por unidade amostral. A parcela útil com 32 plantas, apresentou 2 linhas de plantio

correspondente a bordadura dupla. Os tratamentos consistiram em: (T1) manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, (T2) remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, (T3) remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e (T4) remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados (Figura 3).

Figura 3 - Croqui da distribuição das parcelas experimentais em função dos tratamentos: (T1) manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, (T2) remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, (T3) remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e (T4) remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados.



Fonte: Do autor.

3. 6 CARACTERIZAÇÃO DA IMPLANTAÇÃO DO POVOAMENTO

Em 2013, um plantio em primeira rotação de *Eucalyptus saligna* com sete anos de idade sofreu corte raso (Harvester). Para o presente estudo, 12 parcelas (30 m x 30 m) foram distribuídas em uma área corresponde a 1 ha, sendo que, apenas três parcelas permaneceram com os resíduos da colheita (folhas, galhos e cascas) sobre a superfície do solo. Nas demais parcelas, todo material foi removido de forma mecanizada (Forward) e manual.

Amostras dos resíduos da colheita (galhos, folhas e cascas) de *E. saligna* de primeira rotação foram encaminhados para o Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM para análise química. A quantidade de nutrientes presente nos resíduos da colheita é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de nutrientes presente nos resíduos da colheita de *Eucalyptus saligna* de primeira rotação cortados aos 7 anos de idade.

-----Macronutrientes (kg ha ⁻¹) -----						----- Micronutrientes (g ha ⁻¹) -----				
N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
125,36	13,59	109,99	379,31	65,14	11,58	308,89	96,17	1366,34	19556,12	206,04

Fonte: Consensa (2015).

Para implantação do novo povoamento, toda área foi submetida a capina química (glifosato 4 kg ha⁻¹) e aplicação de calcário dolomítico (2000 kg ha⁻¹). Em abril de 2014, foi realizada subsolagem a 45 cm de profundidade. Nos sulcos de plantio foram distribuídos 200 Kg ha⁻¹ de superfosfato simples e na faixa de 1 m da linha do plantio, foi aplicado 3 L ha⁻¹ de herbicida pré-emergente (Goal oxyfluorfen). A Figura 4 retrata os procedimentos de preparo da área antes da implantação do povoamento florestal.

Figura 4 - Procedimentos de preparo do solo para implantação das mudas de *Eucalyptus saligna* no município Barra do Ribeiro/RS. Em que: A = Colheita; B = Remoção dos resíduos da colheita; C= Fertilização na linha de plantio; D = parcelas com ausência do resíduo; E = parcelas com presença de resíduo.



Fonte: Schumacher (2013, 2014).

Em maio de 2014, cada parcela experimental contou com a implantação de 96 mudas de *E. saligna*, distribuídas em 8 linhas, no espaçamento 3,0 m x 3,0 m, que receberam a mesma fertilização ($100 \text{ g planta}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 06:30:06 + 1% Zn + 0,3% de Cu). Após quatro meses foi realizada adubação de cobertura com 200 Kg ha^{-1} de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 12:00:20 + 0,7% de B, aplicado manualmente na projeção da copa.

Aos 13 meses de idade as plantas de seis parcelas receberam adubações complementares (via fertilização na projeção da copa) com base na análise nutricional dos resíduos da colheita da rotação anterior. Três delas receberam quantidades próximas a 100% da quantidade dos nutrientes exportados pelo resíduo ($555,6 \text{ g planta}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 24:00:24 + 1% B; $208,3 \text{ g planta}^{-1}$ de $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$; $750 \text{ g planta}^{-1}$ de calcário dolomítico; $0,38 \text{ g planta}^{-1}$ de sulfato de cobre; $5,25 \text{ g planta}^{-1}$ de sulfato de ferro; 57 g planta^{-1} de sulfato de manganês e $0,75 \text{ g planta}^{-1}$ de

sulfato de zinco) e as outras três, valores próximos a 50% dos nutrientes exportados (Tabela 3).

Tabela 3 - Quantidade de nutrientes aplicados via fertilização na área experimental

		Nutrientes (kg ha ⁻¹)										
Fertilização		N ¹	P ^{1;2}	K ¹	Ca ³	Mg ³	S ⁴	B ⁵	Cu ^{1;6}	Fe ⁷	Mn ⁸	Zn ^{1;9}
Plantio*		6,40	31,69	26,54	514,58	180,93	****	****	0,32	****	****	1,08
Cobertura**		22,32	****	30,87	****	****	****	14,00	****	****	****	****
Reposição***	T3	75,06	4,46	62,29	10,00	3,52	5,12	3,00	0,03	0,65	8,00	0,08
	T4	165,06	26,53	136,98	208,41	73,28	10,24	6,00	0,05	1,30	16,01	0,15

Em que: T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados; *Plantio= ¹06:30:06+1%Zn+0,3%Cu; ²Superfosfato simples; ³Calcário dolomítico. **Cobertura= ^{1;5}12:00:20+7%B; ***Reposição= ^{1;5}24:00:24+1%B; 10:27:10; ³Calcário dolomítico; ⁴Sulfatos de ⁵Cobre, ⁶Ferro, ⁶Manganês, ⁷Zinco. ****Sem aplicação.

3. 7 VARIÁVEIS ANALISADAS

3. 7. 1 Crescimento do eucalipto

O acompanhamento do crescimento das plantas foi realizado nas 4 fileiras centrais de cada parcela (32 árvores), desconsiderando a bordadura com linhas duplas. O diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total (HT) foram avaliadas aos 7, 12, 18 e 22 meses de idade através da fita métrica e hipsômetro Forestor Vertex® respectivamente. A estimativa do volume de madeira ao longo do tempo foi realizada através da equação (1).

(1)

$$V = \left(\frac{DAP^2 \times \pi}{40.000} \right) \times H \times FF$$

Onde:

V= volume do tronco com casca (m³);

DAP= diâmetro a altura do peito, medido a 1,30 m do nível do sol (cm);

Π= PI (3,14159265359);

H= altura do tronco;

FF = fator de forma (0,5).

O volume real aos 22 meses de idade foi obtido conforme metodologia desenvolvida por Smalian e descrita por Machado e Figueiredo Filho (2009), que possibilitou calcular o fator de forma para tratamento através da razão entre o volume real e o volume cilíndrico ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$).

A determinação da área foliar do *Eucalyptus saligna* foi realizada através da seleção de 12 árvores com diâmetro mais próximo do diâmetro médio da parcela. As árvores foram cortadas rente ao solo, em seguida, todas as folhas foram retiradas dos galhos e colocadas sobre um malha de sombrite que cobria a superfície do solo, de modo que possibilitasse sua separação para posterior obtenção da massa fresca.

De cada árvore, foram selecionadas 60 folhas ao acaso que representasse distribuição ao longo do fuste. Ainda no campo foi obtida a massa fresca das folhas, posteriormente envolvidas em sacos plásticos e guardadas em caixa de isopor com gelo para posterior estimativa da área foliar através do integrador eletrônico de superfície (modelo LiCor 3000, LICOR, EUA).

Tais informações permitiram calcular o índice de área foliar que consiste na a razão entre a área total da face do tecido da folha e a área de superfície de solo ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) conforme proposto por Chen e Black (1992).

3. 7. 2 Quantificação do estoque de nutrientes no solo

Amostras de solo foram coletas nas profundidades 0-20 e 20-40 cm. Em cada parcela foi obtida uma amostra composta por 5 amostras simples em diferentes pontos da parcela experimental. As amostras foram encaminhadas para análise química no Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM onde determinou-se os teores de macronutrientes e micronutrientes conforme a metodologia de Tedesco et al. (1995), apresentado na Tabela 4.

A determinação do estoque de nutrientes no solo, em ambas as camadas, foram estimadas por meio do produto da massa de solo e a concentração média de nutriente (considerando a densidade 1 g cm^{-3} para o solo).

Tabela 4 - Procedimentos analíticos utilizados nas amostras de solo.

Parâmetro	Extração	Método	Comprimento de onda (nm)
Ca trocável	KCl	Espectrofotometria	422,70
Mg trocável	(1mol L ⁻¹)	de absorção atômica	285,20
K trocável	Mehlich ⁻¹	Fotometria de chama	----
P disponível	(HCl + H ₂ SO ₄)	Espectrofotometria	660,00
S disponível	Ca (H ₂ PO ₄) ₂	Espectrofotometria	440,00
B	Curcumina	Espectrofotometria	460,00
Cu	HCl	Espectrofotometria	324,75
Zn	(0,1 mol L ⁻¹)	de absorção atômica	213,86
N total*	em Matéria Orgânica (M. O.)		----

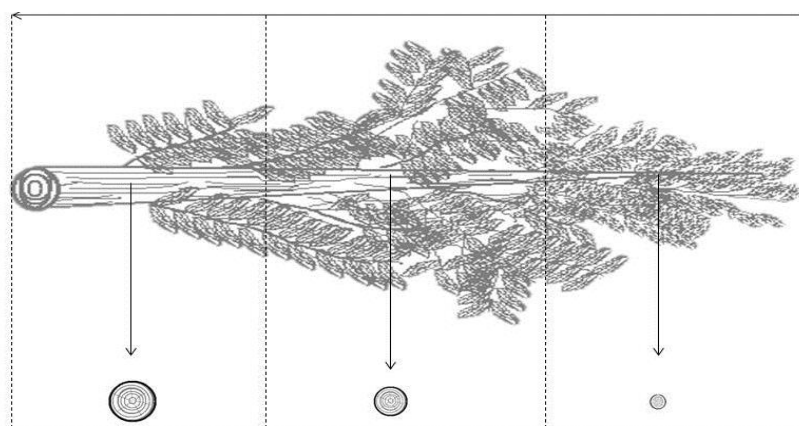
*Devido sua presença em formas poucos ou não disponíveis, para efeito de cálculo considerou-se apenas 10% da Matéria Orgânica (M.O.) como disponível para as plantas (GONÇALVES et al., 2001).

Fonte: Adaptado de Witschoreck (2008).

3. 7. 3 Amostragem e determinação da biomassa

A determinação da biomassa acima do solo do *Eucalyptus saligna* ocorreu em abril de 2016 (22 meses de idade), com a seleção de 12 árvores com o diâmetro mais próximo do diâmetro médio da parcela (mesmas árvores utilizadas para obtenção do IAF). As árvores foram seccionadas ao nível do solo e fracionadas em três partes, onde foram retiradas da parte central de cada fração um disco com casca (FIGURA 5). Para os demais componentes (galho vivo, galho morto e folha) foram coletadas amostras.

Figura 5 - Posição dos discos coletados para amostragem de madeira e casca do tronco.



Fonte: Do autor.

O peso úmido das amostras foi obtido ainda no campo com o uso de balança de precisão. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação e renovação de ar (70°C) até peso constante para determinação do teor de umidade.

3. 7. 4 Quantificação do estoque de nutrientes na biomassa

Amostras de cada compartimento da árvore (madeira, casca, galho vivo, galho morto e folha) após secagem foram moídas em moinho lâminas do tipo Wiley com peneira 20 mesh e levadas para o Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, onde foram realizadas as determinações analíticas dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e dos micronutrientes (B, Cu, Mn, Fe e Zn), seguindo a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999), conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - 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 (Gerhardt Vapodest)	—
Ca	Nítrica-perclórica (HNO ₃ +HClO ₄) [3:1]	Espectrometria de absorção atômica (Perkin Elmer, Analyst, 200)	422.67
Cu			324.75
Fe			248.33
Mg			285.21
Mn			279.48
Zn			213.86
K	Seca	Fotometria de chama	-----
P		Espectrofotometria	660.00
S		Turbidimetria	420.00
B		Espectrofotometria	460.00

Fonte: Adaptado de Witschoreck (2008).

A obtenção do teor de umidade de cada componente possibilitou a estimativa do estoque de nutrientes através do produto da biomassa seca pela concentração

de nutrientes, com a estimativa por hectare com base no número de árvores por parcela.

3. 7. 5 Eficiência de utilização nutricional (EUN)

A Eficiência de Utilização Nutricional (EUN) foi determinada através da relação da biomassa com a quantidade de nutriente de cada componente arbóreo da biomassa (Equação 2).

(2)

$$EUN = \frac{\text{Quantidade de biomassa (kg)}}{\text{Quantidade de nutrientes (kg)}}$$

Através deste índice, plantas eficientes, mas com baixa produção de biomassa são evitados durante um processo de seleção de genótipos potenciais. Além disso, a eficiência de uso de nutrientes, do ponto de vista fisiológicos, consiste na produção de matéria seca (produtividade primária líquida) por unidade de nutrientes acumulada pela planta (ROSIN, 2013).

3. 8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As características de crescimento do *Eucalyptus saligna* passaram por análise de regressão, sendo aplicado na ultima avaliação teste Tukey ($\alpha=0.05$). Os demais dados foram submetidos à análise da variância e ao teste de Tukey ($\alpha=0.05$) para comparação de médias entre os tratamentos pelo programa estatístico SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. 1 NUTRIENTES DISPONÍVEIS NO SOLO

Os atributos químicos do solo sob diferentes formas de manejo dos resíduos da colheita e reposição de nutrientes, apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os tratamentos apenas para a CTC efetiva (Tabela 6). O maior teor foi verificado na condição de reposição de 100% dos nutrientes removidos, para a profundidade de 20-40 cm, com valor médio de $2,71 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A CTC efetiva, obtida pela soma de Ca, Mg, K e Al trocáveis, apresenta também uma significativa relação com os teores de C e o pH do solo (BAYER & BERTOL, 1999). Apesar do pH não apresentar diferenças significativas entre os tratamentos, é possível notar que o menor valor está presente no tratamento com ausência dos resíduos da colheita e sem a reposição de nutrientes (4,86 para a camadas de 20 a 40 cm).

Conforme a Comissão de Química e Fertilidade do solo – CQFS (2004), teores de Ca e Mg são altos quando seus valores são superiores a 4,0 e 1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. Dessa forma, é possível observar que ambos os nutrientes estão abaixo desse nível.

Paes et al. (2013) ao avaliarem os atributos químicos e físicos do solo de *E. urograndis*, aos 83 meses de idade, com adubação de plantio correspondente a 200 kg ha^{-1} de N-P-K (06:26:13), apontam que a remoção dos galhos > 3 cm e casca foi responsável por maior CTC efetiva ($71,9 \text{ g dm}^{-3}$), quando comparado a condição de todo resíduo retirado ($57,0 \text{ g dm}^{-3}$) e todo resíduo mantido ($64,1 \text{ g dm}^{-3}$).

Dentre os fatores que contribuem para perdas nutricionais no solo, tem-se a ausência de resíduos orgânicos na superfície, que contribui para lixiviação (RAIMUNDO et al., 2002). Além disso, sistemas de cultivo que adotam praticas de remoção dos resíduos da colheita, deixando os solos totalmente descobertos contribui para perdas de solo e água, aumentando a suscetibilidade à erosão hídrica (SILVA et al., 2011). Segundo Poggiani, Couto e Simões (1979), perdas das características químicas e físicas do solo, compactação e aceleração do depuramento, é comum em mini-rotações (ciclos que variam de 2 a 3 anos). Apesar deste estudo não consistir em uma mini-rotação, a idade do povoamento estudado sugere um comportamento semelhante para o solo.

Tabela 6 - Atributos físicos e químicos do solo na área experimental com o *Eucalyptus saligna* aos 15 meses de idade.

Atributo	un	0-20 cm				0-40 cm			
		T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Argila	mg kg ⁻¹	94,9 A (19,86)	114,9 A (8,20)	103,5 A (7,99)	81,1 A (30,77)	148,3 a (12,72)	128,3 a (26,50)	130,1 a (21,21)	127,7 a (14,76)
M.O		11,8 A (9,63)	10,7 A (12,19)	10,1 A (11,38)	12,7 A (4,80)	7,5 a (5,93)	9,5 a (13,71)	9,6 a (19,46)	8,9 a (5,05)
pH (H ₂ O)		5,26 A (1,35)	5,14 A (1,68)	5,12 A (4,14)	5,28 A (1,93)	5,03 a (0,89)	4,86 a (6,31)	5,03 a (1,90)	5,22 a (4,46)
Al	cmol _c dm ⁻³	0,07 A (70,71)	0,30 A (77,06)	0,30 A (115,92)	0,00 A (0,00)	1,04 a (22,02)	0,71 a (78,77)	0,59 a (61,87)	0,59 a (63,74)
Ca		1,83 A (4,78)	1,19 A (21,50)	1,29 A (29,86)	1,90 A (19,16)	0,51 a (31,23)	0,89 a (55,83)	0,93 a (40,02)	1,55 a (30,92)
Mg		0,69 A (0,62)	0,46 A (20,06)	0,42 A (24,51)	0,56 A (15,68)	0,34 a (38,40)	0,46 a (27,38)	0,33 a (21,83)	0,47 a (19,88)
P	mg dm ⁻³	9,00 A (8,31)	7,40 A (8,11)	10,13 A (46,74)	25,10 (70,52)	3,73 a (48,77)	6,00 a (55,84)	10,00 a (87,74)	14,47 a (62,06)
K		41,50 A (11,25)	43,30 A (15,68)	35,10 A (14,92)	38,20 A (6,03)	36,27 a (16,34)	37,20 a (7,79)	37,07 a (8,29)	37,83 a (12,42)
Al+H	cmol _c dm ⁻³	2,55 A (31,80)	3,70 A (12,06)	3,16 A (38,83)	2,57 A (8,72)	5,05 a (9,85)	4,64 a (40,57)	3,76 a (23,65)	4,02 a (20,87)
CTCefet.		2,70 A (2,68)	2,06 A (14,94)	2,10 A (6,50)	2,55 A (17,78)	1,97 b (3,72)	2,15 ab (14,55)	1,95 b (4,27)	2,71 a (5,30)
CTCpH 7		5,17 A (14,26)	5,46 A (7,53)	4,97 A (15,13)	5,12 A (12,58)	5,98 a (3,80)	6,09 a (21,56)	5,11 a (9,06)	6,13 a (6,24)
V	%	51,94 A (15,66)	32,36 A (17,98)	38,46 A (36,36)	49,48 A (6,85)	15,80 a (34,09)	26,87 a (60,99)	27,44 a (42,93)	35,06 a (27,18)
M		2,73 A (70,81)	14,25 A (84,18)	15,28 A (118,27)	0,00 A (0,00)	53,12 a (25,67)	33,26 a (71,38)	31,35 a (63,31)	22,31 a (64,62)
S	mg dm ⁻³	4,77 A (31,60)	3,77 A (8,76)	4,40 A (19,55)	4,50 A (9,43)	3,60 a (4,54)	4,43 a (12,94)	4,00 a (10,80)	4,27 a (17,78)
B		0,31 A (37,51)	0,61 A (38,81)	0,58 A (31,53)	0,41 A (10,14)	0,56 a (61,62)	0,45 a (27,83)	0,71 a (68,25)	0,46 a (7,27)
Cu		1,26 A (14,06)	2,01 A (22,27)	1,43 A (25,56)	1,61 A (16,36)	2,19 a (11,06)	2,03 a (21,31)	1,93 a (32,72)	2,10 a (20,94)
Zn		0,88 A (26,59)	0,45 A (14,81)	0,67 A (37,22)	1,45 A (38,64)	0,20 a (19,20)	0,39 a (50,77)	0,51 a (64,88)	0,30 a (28,48)

Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados. Média seguida de letras maiúsculas iguais (0 a 20 cm) e letras minúsculas iguais (20 a 40 cm), não difere significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro, e os resultados entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%)

Madeira et al. (2004), ao estudar o efeito da remoção, incorporação e distribuição dos resíduos da colheita no solo, em plantações de *E. globulus* após o primeiro corte, apontam que as características físicas e químicas do solo também não apresentaram diferenças significativas entre as formas de gestão dos resíduos. No entanto, O'Connell et al. (2004), ao estudar a gestão dos resíduos da colheita em plantações de *E. globulus* no sudoeste da Austrália em um período de 4 anos, observou que as taxas anuais de mineralização na superfície do solo (0-10 cm) são significativamente maiores em locais onde os resíduos da colheita são mantidos.

A quantidade de nutrientes disponíveis no solo até a profundidade de 40 cm é apresentada na Tabela 7. No presente estudo, a presença dos resíduos da colheita apontam menor estoque total de nitrogênio ($1934 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$). Este fato ocorre devido principalmente à lenta decomposição e disponibilização dos nutrientes presentes nos resíduos da colheita. Por outro lado, quando distribuídos na forma de fertilizantes, são rapidamente disponibilizados no solo para absorção das plantas.

Nas camadas superficiais (0 a 20 cm) a presença dos resíduos da colheita (T1) contribuiu para a disponibilização de quantidade próxima a reposição de 100% dos nutrientes na forma de fertilizante (T4), atingindo valores correspondentes a $1179,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ e $1273,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, respectivamente.

De acordo com Pulrolnik et al. (2009), as frações de matéria orgânica do solo são responsáveis pela contribuição no estoque de carbono e nitrogênio. O'Connell et al. (2004) relatam que a mineralização do N, diminui acentuadamente com a profundidade, com 80% da mineralização nos primeiros 20 cm de profundidade. Segundo Gama-Rodrigues et al. (2005), o N, o N da biomassa microbiana e N-NO_3 apresentam forte influência do teor de argila e umidade solo.

A ausência dos resíduos da colheita sem reposição de nutrientes exportados resultou em menor estoque de P disponível no solo ($21,87 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$). Conforme Barros et al. (1984), plantas de *E. saligna* que recebem doses mais elevadas de P, mantem elevada taxa de crescimento. Isso acontece porque a maior eficiência de utilização desse nutriente pelo eucalipto ocorre em função da maior produção da matéria seca (LUCA et al., 2002).

Os estoques totais de K foram maiores (161 kg ha^{-1}) com a ausência dos resíduos da colheita sem a reposição dos nutrientes (T2), enquanto que o Ca apresentou menor valor nessa condição ($832,80 \text{ kg ha}^{-1}$). Segundo Santana, Barros e Neves (1999), esses nutrientes estão relacionados à colheita do tronco, se a

colheita restringir apenas ao lenho essa limitação pode ser reduzida principalmente para Ca.

Já os estoques de S, macronutriente secundário, são observados valores de até 16,80 kg ha⁻¹. De acordo com Stipp e Casarin (2010), dentre os fatores que afetam a disponibilidade de S no solo tem-se o intemperismo de minerais fosfatados, deposição atmosférica, água da chuva, resíduos vegetais e animais, adição de fertilizantes minerais ou orgânicos. Além disso, esses autores apontam que sulfetos metálicos (minerais primários), como Fe, Zn, Cu, Ca e Mg são fontes originais de nutriente no solo. Quanto ao estoque de micronutrientes (B, Cu, Zn) no solo, são observados valores que oscilam de 0,41 kg ha⁻¹ (Zn) até 4,39 kg ha⁻¹ (Cu).

Tabela 7 - Quantidade de nutrientes no solo em área experimental com *Eucalyptus saligna* aos 15 meses de idade.

TRAT	Prof. (cm)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Zn
kg ha-1										
T1*	0-20	1179,67	18,00	83,00	733,20	166,94	9,53	0,62	2,52	1,76
		(9,63)	(8,31)	(11,25)	(4,78)	(0,62)	(31,60)	(37,51)	(14,06)	(26,59)
	20-40	754,33	7,47	72,53	202,80	81,65	7,20	1,12	4,39	0,41
		(5,93)	(48,77)	(16,34)	(31,23)	(38,40)	(4,54)	(61,62)	(11,06)	(19,20)
Total		1934,00	25,47	155,53	936,00	248,59	16,73	1,74	6,91	2,17
T2	0-20	1068,67	9,87	86,60	477,60	111,54	7,53	1,22	4,03	0,89
		(12,19)	(71,40)	(15,68)	(21,50)	(20,06)	(8,76)	(38,81)	(22,27)	(14,81)
	20-40	951,67	12,00	74,40	355,20	112,27	8,87	0,90	4,06	0,78
		(13,71)	(55,84)	(7,79)	(55,83)	(27,38)	(12,94)	(27,83)	(21,31)	(50,77)
Total		2020,33	21,87	161,00	832,80	223,80	16,40	2,11	8,09	1,67
T3	0-20	1005,33	20,27	70,20	517,20	102,79	8,80	1,15	2,87	1,35
		(11,38)	(46,74)	(14,92)	(29,86)	(24,51)	(19,55)	(31,53)	(25,56)	(37,22)
	20-40	959,67	20,00	74,13	372,00	79,46	8,00	1,43	3,86	1,02
		(19,46)	(87,74)	(8,29)	(40,02)	(21,83)	(10,80)	(68,25)	(32,72)	(64,88)
Total		1965,00	40,27	144,33	889,20	182,25	16,80	2,58	6,73	2,37
T4	0-20	1273,67	33,47	76,40	759,60	134,87	9,00	0,81	3,22	2,89
		(4,80)	(111,62)	(6,03)	(19,16)	(15,68)	(9,43)	(10,14)	(16,36)	(38,64)
	20-40	894,00	28,93	75,67	619,20	114,45	8,53	0,93	4,19	0,60
		(5,05)	(62,06)	(12,42)	(30,92)	(19,88)	(17,78)	(7,27)	(20,94)	(28,48)
Total		2167,67	62,40	152,07	1378,80	249,32	17,53	1,74	7,42	3,49

Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados e os resultados entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%)

4. 2 CRESCIMENTO DO EUCALIPTO

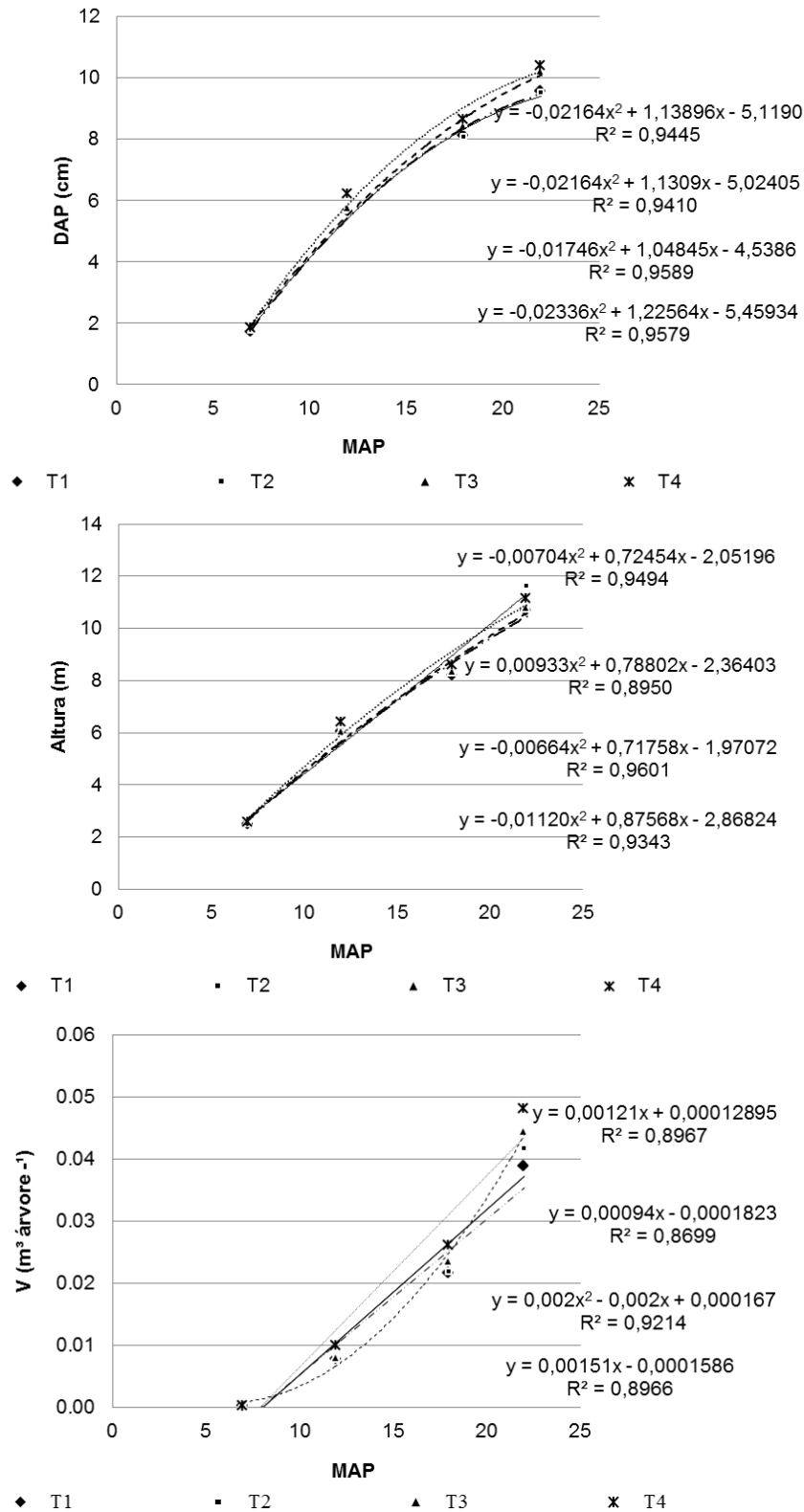
As variáveis dendrométricas DAP, altura total, obtida aos 7, 12, 18 e 22 meses após o plantio (MAP) apontaram a regressão quadrática sendo aquela que melhor ajustou os dados. No entanto, para o volume, apenas as árvores cultivadas com remoção dos resíduos e reposição de 50% dos nutrientes exportados (T3) apontou modelo quadrático como mais adequado. Os demais tratamentos foram ajustados em modelos lineares devido à ausência de significância dos coeficientes (FIGURA 6).

Nos modelos apresentados, é possível notar pouca variação no crescimento médio do *Eucalyptus saligna* até os 13 meses de idade, momento em que os tratamentos T3 e T4 receberam adubação de reposição. Gonçalves (1995) destaca que a fase de crescimento inicial consiste em maior dependência das condições de fertilidade do solo, devido o reduzido sistema radicular que está em formação e as baixas taxas de ciclagem de nutrientes via serapilheira.

Bellote, Dedeczek e Silva (2008), estudaram a deposição da serapilheira de *Eucalyptus grandis* em condições onde os resíduos da colheita foram mantidos totalmente, removidos totalmente, removidos apenas os maiores que 3 cm e removidos totalmente mas com adição de 15 t ha⁻¹ de resíduo celulósico e 4 t ha⁻¹ de cinza de madeira. Estes autores não observaram diferença na produção de serapilheira aos 24 meses de idade, mas sim aos 36 meses, com destaque para a produção de serapilheira na área onde foram mantidos os resíduos da colheita florestal.

Rachwal et al. (2007), ao estudar o manejo dos resíduos da colheita de Acácia-Negra aos 84 meses de idade em cinco tipos de solo, observaram que a quantidade percentual de resíduos produzida (18 a 29 %) não apresenta relação com o volume de madeira no mesmo solo de cultivo. No presente estudo é possível verificar que o *E. saligna* na condição de presença e ausência dos resíduos da colheita sem reposição dos nutrientes (T1 e T2) apresentaram ao longo tempo crescimento médio próximo. O mesmo ocorreu para aqueles que receberam adubação de reposição (T3 e T4).

Figura 6 - Características dendrométricas de *Eucalyptus saligna* cultivados sob manejo dos resíduos da colheita e fertilização em Barra do Ribeiro/RS.



Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados.

Segundo Dedecek, Bellote e Menegol (2007), ao testarem a remoção e manutenção dos resíduos da colheita, destaca que a diferença no crescimento do eucalipto ocorre com maior evidencia a partir do segundo e terceiro ano após o plantio. Conforme Rocha et al. (2014), os resíduos do eucalipto apresentam elevado grau de recalcitrância, justificando, portanto a baixa taxa de decomposição que pode variar de 6 meses a 36 meses para decompor metade da massa desses resíduos. Portanto, o eucalipto em estágio inicial (22 meses de idade), apresenta rápida resposta fertilização mineral, tendo em vista que os nutrientes presentes nos resíduos da colheita estão disponíveis em menor proporção para absorção das plantas.

Aos 22 meses de idade os tratamentos que não receberam adubação de reposição foram estatisticamente iguais entre si apresentando também menor crescimento (Tabela 8). Já nos tratamentos com reposição de 50% e 100% dos nutrientes presentes nos resíduos da colheita sob a forma de fertilizante (T3 e T4) é observado maior crescimento médio do DAP (10,19 e 10,38 cm) e volume (43,98 e 43,60 m³ há⁻¹), sendo o tratamento T4 aquele que apresentou maior altura (11,18 m). No entanto, Paes et al. (2013), constataram que a manutenção dos resíduos florestais após a colheita da madeira do primeiro ciclo, proporcionou um aumento correspondente a 36,6% (71,7 m³ ha⁻¹) no volume de madeira produzido em *E. grandis*, aos 83 meses de idade, quando comparado com o local onde foram removidos os resíduos após a colheita.

Tabela 8 - Crescimento médio do *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade, cultivado sob manejo dos resíduos da colheita e fertilização em Barra do Ribeiro/RS.

	Densidade (árvore ha ⁻¹)	DAP (cm)	HT (m)	ff	V (m ³ ha ⁻¹)	IAF (m ² m ⁻²)
T1*	1076	9,57 b (8,63)	10,70 b (7,17)	0,47	39,50 b (21,15)	4,6 a (27,64)
T2	1076	9,50 b (9,19)	10,65 b (7,53)	0,48	39,61 b (23,01)	4,5 a (27,21)
T3	1030	10,19 a (7,82)	10,80 b (6,79)	0,48	43,98 a (18,97)	5,0 a (27,57)
T4	1053	10,38 a (8,80)	11,18 a (9,38)	0,43	43,60 a (21,35)	4,8 a (26,38)

*Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados. Média dos tratamentos seguidas por letras iguais na vertical, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro e os resultados entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

Londero et al. (2015), estudando a mesma espécie na região de Guaíba-RS aos 24 meses de idade observou comportamento semelhante no crescimento da espécie para o DAP (9,4 cm), altura (10,9 m) e volume de madeira (49,3 m³ ha⁻¹). Dedecek, Bellote e Menegol (2007), ao avaliarem o efeito da manutenção dos resíduos da colheita florestal sobre a superfície do solo de em um povoamento de eucalipto aos 24 meses de idade em Mongi-Guaçu/SP, observaram que o crescimento em altura e DAP do eucalipto em segunda rotação foi favorecido, com pouca alteração para altura. Segundo Reiner et al. (2011) a ausência de diferença no crescimento em altura ocorre quando no desenvolvimento inicial não há competição entre as mudas.

Soares et al. (2002), ao comparar incorporação, distribuição e ausência dos resíduo da colheita no solo em uma plantação de *E. globulus* em Portugal, verificou diferenças significativas no crescimento em altura (0,99 m, 1,77 m e 0,87 m respectivamente) e diâmetro (0,8 cm, 1,7 cm e 0,78 cm respectivamente) cinco meses após o plantio.

Paes et al. (2013) ao avaliarem um plantio de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com 12 anos de idade, observaram que a retirada dos resíduos da colheita foi responsável por menor produção de madeira em volume (196,1 m³ ha⁻¹) quando

comparado a condição de manutenção dos resíduos ($267,81 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) ambas situações com adubação de plantio correspondente a $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N-P-K}$ (06:26:13).

O manejo dos resíduos da colheita e a reposição de nutrientes em forma de fertilizante não apresentou efeito significativo no Índice de Área Foliar (IAF) do *E. saligna*, com valores entre 4,5 e 5,0 aos 22 meses de idade (FIGURA 8). Este parâmetro apresenta um importante papel em processos fisiológicos de ecossistemas florestais com diferentes respostas em função da sazonalidade e condições edafoclimáticas (MAIRE et al., 2011). Segundo Sanquetta et al. (2014), altos valores de IAF são responsáveis pela maior interceptação radiação fotossinteticamente ativa, consequentemente maior acúmulo de fitomassa.

Vale ressaltar que as plantas possuem a capacidade de desenvolver estratégias a fim de se adaptar as condições adversas (ALMEIDA et al., 2005). A redução foliar, por exemplo, permite desenvolver mecanismos fisiológicos compensatórios, como aumento da taxa fotossintética, eficiência da água e utilização de assimilados de carbono (QUENTIN et al., 2011)

Xavier, Soares e Almeida (2002), verificaram que ao longo do ciclo de crescimento de clones de eucalipto existe variação no IAF. Estes autores apontam que o IAF do eucalipto cultivado no Norte do Espírito Santo oscilou entre 1,7 a 4,3 (com idade entre 12 e 84 meses), isso devido o incremento médio corrente (IMC), atingir seu pico entre 36 e 48 meses de idade, com decréscimo aos 84 meses (período de corte). Segundo Bazani, Gonçalves e Rocha (2014), a fertilização fosfatada respondeu de forma positiva ao IAF, sendo responsável pelo incremento de 26% no IAF aos 25 meses de idade e 47% na biomassa da planta.

4. 3 ESTOQUE DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO

A distribuição de biomassa do *Eucalyptus saligna* nos diferentes compartimentos acima do solo não sofreu influência significativa do manejo dos resíduos da colheita e reposição dos nutrientes. A produção média de madeira em todo os tratamentos oscilou entre 14 e 16 Mg ha^{-1} e a produção total de biomassa, incluindo os demais compartimentos (casca, folha e galho) atingiu valores entre 28 e 32 Mg ha^{-1} (Tabela 9). Londero et al. (2015), estudando essa espécie em Guaíba/RS, observaram que a biomassa total da parte aérea, atingiu $34,2 \text{ Mg ha}^{-1}$

aos 24 meses de idade, apresentando portanto um comportamento semelhante ao presente estudo.

Tabela 9 - Biomassa acima do solo de *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade em Barra do Ribeiro/RS.

Tratamento	Madeira	Casca	Folha	Galho Vivo	Galho Morto	Total
	Mg ha ⁻¹					
T1*	14,70 a (20,77)	2,28 a (16,31)	4,65 a (23,97)	5,88 a (21,34)	0,87 a (15,17)	28,37 a (20,09)
T2	14,46 a (15,14)	1,90 a (11,16)	5,37 a (7,91)	8,01 a (7,18)	1,44 a (44,93)	31,18 a (8,36)
T3	15,56 a (4,28)	2,40 a (16,99)	4,68 a (15,89)	6,68 a (8,44)	1,80 a (34,31)	31,11 a (2,58)
T4	15,28 a (8,22)	2,07 a (10,40)	5,60 a (18,46)	7,95 a (18,73)	1,37 a (30,32)	32,27 a (4,65)

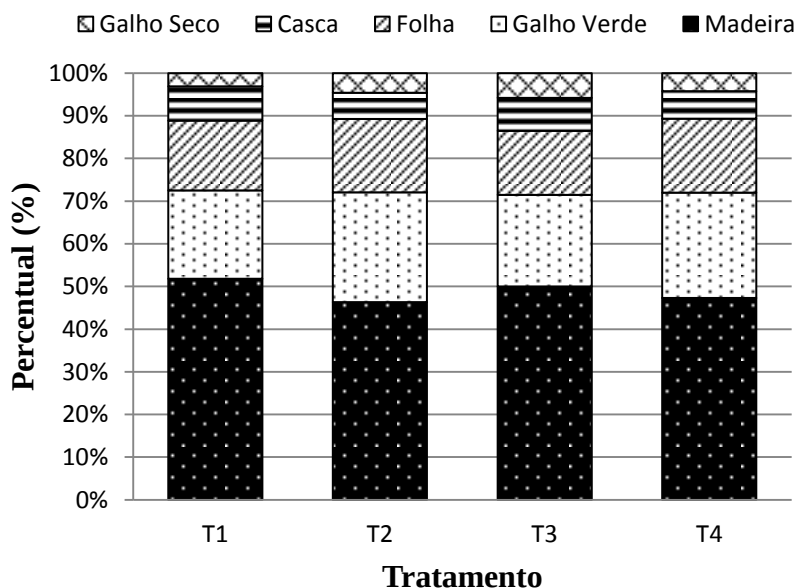
**Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados. Média dos tratamentos seguidas por letras iguais na vertical, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro e os resultados entre parênteses correspondem ao coeficiente de variação (%).

Oliveira Neto et al. (2003), estudando a produção e alocação de biomassa do *Eucalyptus camaldulensis* aos 20 e 30 meses de idade, observaram influencia aos 32 meses de idade. No presente estudo, aos 22 meses de idade o *E. saligna* não apresentou diferenças significativas para os diferentes componentes acima do solo. Porém nota-se que a maior biomassa ocorreu nas plantas que receberam fertilização correspondente a 100% dos nutrientes exportados (T4), demonstrando, portanto, efeito da fertilização nessa idade. Silva et al (2004), ao avaliar a biomassa do *E. benthamii* nas idades 12, 24, 36 e 48 meses, observaram que os componentes madeira e casca aumentaram sua proporção e galhos e folhas diminuíram em função do aumento da idade.

Na Figura 7 são apresentadas as proporções de madeira, casca, galhos e folhas de *E. saligna* aos 22 meses de idade. No presente estudo os tratamentos não alteraram a distribuição da biomassa na parte aérea. Dessa forma, o percentual de cada componente da biomassa seguiu a seguinte ordem: madeira (46% a 50%) > os galhos verdes (20% a 26%) > folhas (15% a 18%) > casca (6% a 8%) > galhos secos (3% a 6%). Silva et al. (2004), estudando o *E. benthamii* em diferentes idades,

no espaçamento 3 m x 4 m, no município de Guarapuava/PR, observou que aos 24 meses de idade a espécie apresentou comportamento semelhante, sendo: madeira (51,0%) > galhos (25,2%) > folhas (19%) > casca (4,8%).

Figura 7 - Proporção dos componentes madeira, casca, galho e folha em relação à biomassa total da parte aérea de *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade.



Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados.

De acordo com Schumacher, Witschoreck e Calil (2011), em função da idade o componente galho vivo (verde), galho morto (seco), folha, casca e raiz apresentam redução na biomassa relativa. Segundo Laclau et al. (2000), o aumento considerável na proporção de biomassa é mais considerável na transição da idade de 12 a 48 meses de idade, no qual a biomassa aérea total passa de 35% para 80%.

4. 4 NUTRIENTES NA BIOMASSA ACIMA DO SOLO

E. saligna na condição de manejo dos resíduos da colheita e reposição de nutrientes na forma de fertilização mineral apresentou maior concentração de nutrientes na casca (K, Ca, Mg, S, B, Fe e Mn), com destaque para o K que atingiu valores entre 18,25 a 20,20 g kg⁻¹ (Tabela 10). WADT et al. (1998), estudando híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* com idades superiores a cinco anos também

observaram comportamento semelhante. De acordo com Santana et al. (2008b), apesar da biomassa da casca representar em média apenas 13% da biomassa do tronco, altas concentrações de nutrientes são encontrados neste componente. Estes autores afirmam que a casca desempenha um importante papel no ciclo biogeoquímico, como dreno de nutrientes, que, no entanto normalmente é retirada através da prática da colheita florestal.

Na folha, os nutrientes que apresentaram maior concentração foram: N, P e S. De acordo com Viera et al. (2012), esse comportamento é comum, tendo em vista a alta atividade fisiológica e metabólica, como a fotossíntese e transpiração, que ocorrem nesse componente. Dos três elementos citados o N, foi aquele que apresentou maior concentração, com valores entre 18,09 e 22,50 g kg⁻¹. O alto teor de N ocorre devido este elemento participar em reações metabólicas para a formação de proteínas, aminoácidos, aminas, vitaminas dentre outras (MALAVOLTA, 1985).

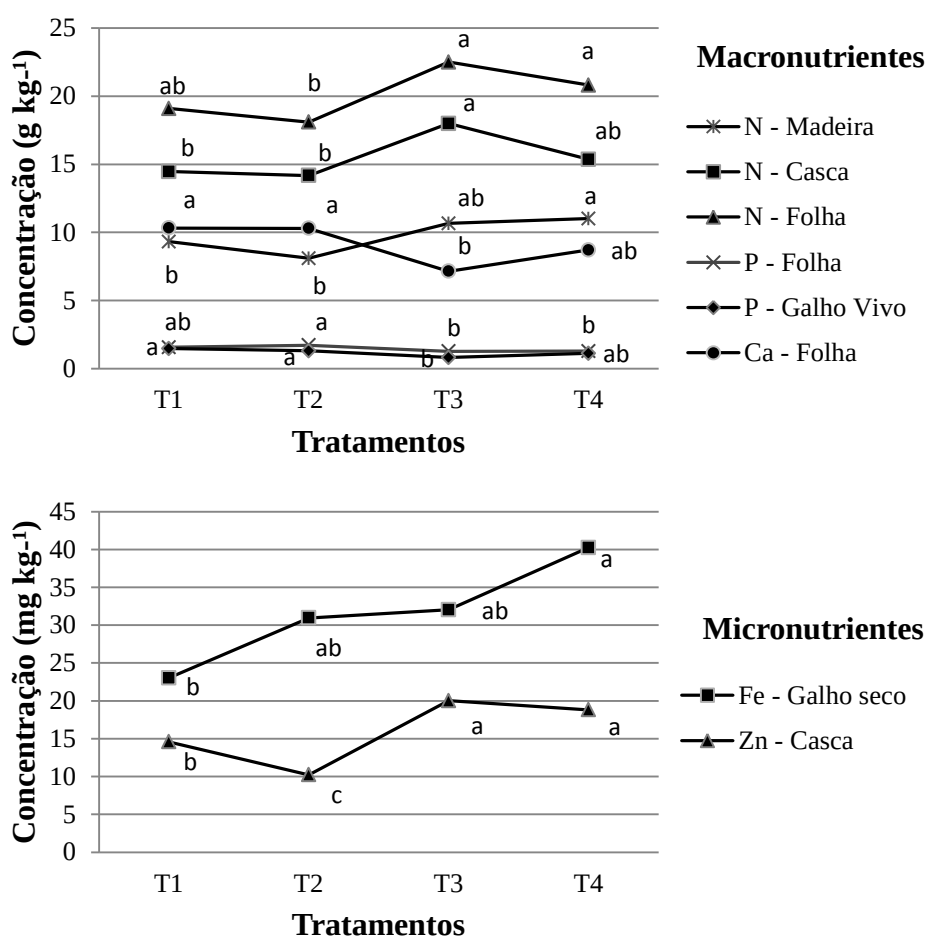
Tabela 10 - Concentração de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa do *Eucalyptus saligna*, aos 22 meses de idade em Barra do Ribeiro/RS.

	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
Madeira	T1*	9.32 ab	0.88 a	12.12 a	2.50 a	2.01 a	0.82 a	3.65 a	12.16 a	46.10 a	203.41 a	21.30 a
	T2	8.09 b	0.90 a	11.92 a	2.32 a	1.86 a	0.83 a	1.90 a	11.54 a	32.94 a	218.32 a	18.91 a
	T3	10.65 a	0.80 a	12.72 a	1.77 a	1.77 a	0.82 a	2.74 a	14.12 a	43.01 a	217.67 a	18.73 a
	T4	11.01 a	1.10 a	13.66 a	2.05 a	2.03 a	0.81 a	3.81 a	12.05 a	55.08 a	218.53 a	22.01 a
Casca	T1	14.47 b	1.34 a	19.20 a	29.84 a	10.69 a	1.01 a	37.28 a	10.18 a	55.88 a	1679.80 a	14.58 b
	T2	14.17 b	1.41 a	18.25 a	31.60 a	10.72 a	1.02 a	35.77 a	8.16 a	64.31 a	1757.53 a	10.23 c
	T3	17.99 a	1.32 a	20.20 a	31.57 a	9.75 a	1.26 a	40.51 a	7.42 a	68.93 a	2334.98 a	20.01 a
	T4	15.36 ab	1.33 a	20.00 a	31.27 a	9.59 a	1.17 a	36.64 a	9.96 a	93.46 a	2303.73 a	18.82 a
Folha	T1	19.09 ab	1.56 ab	11.55 a	10.32 a	3.56 a	1.09 a	27.90 a	6.50 a	41.58 a	673.60 a	10.22 a
	T2	18.09 b	1.72 a	11.61 a	10.30 a	3.58 a	1.16 a	26.77 a	6.53 a	37.69 a	629.32 a	9.67 a
	T3	22.50 a	1.27 b	11.99 a	7.14 a	2.94 ab	1.20 a	30.53 a	5.46 a	44.99 a	884.23 a	12.25 a
	T4	20.82 ab	1.29 b	12.53 a	8.71 a	2.97 b	1.18 a	30.91 a	5.87 a	51.36 a	836.59 a	10.63 a
Galho vivo	T1	5.89 ab	1.48 a	8.91 a	9.78 a	1.89 a	0.33 a	8.23 a	8.10 a	23.99 a	402.99 a	7.91 a
	T2	4.47 b	1.31 a	7.74 a	10.37 a	2.00 a	0.31 a	7.16 a	8.02 a	19.83 a	389.90 a	9.31 a
	T3	6.81 a	0.82 b	8.43 a	5.25 a	1.59 a	0.41 a	8.09 a	5.66 a	24.52 a	416.58 a	8.06 a
	T4	5.85 ab	1.12 ab	9.19 a	7.05 a	1.57 a	0.31 a	8.05 a	7.53 a	27.71 a	427.64 a	9.88 a
Galho morto	T1	2.87 a	0.50 a	1.77 a	21.18 a	2.86 a	0.29 a	7.29 a	7.21 a	23.02 b	688.96 a	12.96 a
	T2	3.70 a	0.32 a	1.76 a	26.35 a	3.30 a	0.31 a	6.46 a	7.17 a	30.96 ab	741.69 a	18.33 a
	T3	4.05 a	0.31 a	2.04 a	17.40 a	2.33 a	0.29 a	7.64 a	7.06 a	32.04 ab	960.15 a	11.19 a
	T4	4.58 a	0.46 a	1.46 a	23.25 a	3.27 a	0.35 a	7.49 a	6.95 a	40.23 a	878.60 a	16.55 a

*Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados. Média dos tratamentos seguidas por letras iguais na vertical, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de erro.

O manejo dos resíduos da colheita e reposição de nutrientes na forma de fertilização mineral apresentou efeito significativo ($p < 0,05$) na concentração dos nutrientes (FIGURA 8). Os tratamentos apresentaram efeito no N (presente na madeira, casca, folha e galho verde), no P (presente na folha e no galho verde) e Ca, Fe e Zn (presente na folha, casca e galho seco, respectivamente).

Figura 8 - Concentração média dos nutrientes de *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade que apresentaram efeito significativo do manejo dos resíduos da colheita e reposição de nutrientes na forma de fertilização mineral.



Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados.

Para o nitrogênio (N), tratamentos que receberam fertilização mineral (T3 e T4) apresentaram maior concentração desse elemento nas folhas (22,5 g kg⁻¹ e 20,8 g kg⁻¹). Já na casca, esse elemento foi maior no tratamento com a reposição de 50%

dos nutrientes exportados pelo resíduo (T3), com $17,99 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que, na madeira $11,01 \text{ g kg}^{-1}$ no tratamento com a reposição de 100% dos nutrientes exportados pela colheita (T4).

Para os demais tratamentos, presença e ausência dos resíduos da colheita sem a reposição de nutrientes (T1 e T2), a concentração de N nos componentes madeira, casca e folha foram inferiores e estatisticamente iguais entre si. De acordo com Maffeis, Silveira e Brito (2000), estudando o *Eucalyptus citriodora* em solução com presença e omissão do N, dos 4 aos 11 meses de idade, verificaram que as plantas submetidas a omissão desse elemento apresentaram $7,84 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto que, aquelas com presença completa dos outros elementos (N, P, K, Ca, Mg, S e B) apresentaram $10,07 \text{ g kg}^{-1}$. De acordo com Haag et al. (1997), a concentração desse macronutriente, apresenta variação entre espécies de eucalipto e tipos de solo, atingindo um percentual que variou de 1,21% a 2,26% da composição foliar.

Nos tratamentos com presença e ausência dos resíduos da colheita sem reposição dos nutrientes (T1 e T2) são observadas maiores quantidades de P e Ca nos componentes: galho vivo ($1,37 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,31 \text{ g kg}^{-1}$) e folhas ($10,29 \text{ g kg}^{-1}$ e $10,32 \text{ g kg}^{-1}$) respectivamente. Segundo Viera et al. (2015), estudando a disponibilidade de nutrientes de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, com dez anos de idade, observaram que esses nutrientes podem se tornar os principais limitantes na produtividade das próximas rotações em sistemas que não retiram apenas a madeira, mas também parte dos resíduos da colheita florestal.

Para os micronutrientes, o elemento Fe foi encontrado em maior concentração nos galhos secos ($40,23 \text{ g kg}^{-1}$) na condição de 100% da reposição dos nutrientes na forma de fertilizante (T4), para os demais tratamentos foram observados valores que oscilaram entre 23 g kg^{-1} e 32 g kg^{-1} . Já o Zn, concentrações maiores e estatisticamente iguais são observadas nos tratamentos com reposição dos nutrientes (T3 e T4) com $20,01 \text{ g kg}^{-1}$ e $18,81 \text{ g kg}^{-1}$.

Este estudo aponta que o manejo dos resíduos e a reposição dos nutrientes na forma de fertilizante influenciam o armazenamento dos nutrientes na biomassa total (Tabela 11). *E. saligna* com a presença dos resíduos da colheita na superfície do solo apresentaram a seguinte ordem $\text{K} > \text{Ca} > \text{N} > \text{Mg} > \text{P} > \text{S}$, com destaque do K na madeira ($41,81 \text{ kg ha}^{-1}$) totalizando $129,31 \text{ kg ha}^{-1}$. Conforme um estudo realizado por Hernández et al. (2009) com *E. dunni* aos 9 anos (108 meses) de idade cultivados no Uruguai, quantidades significativas de nutrientes (176 kg ha^{-1} de

N, 20 kg ha⁻¹ de P, 375 kg ha⁻¹ de K, 460 kg ha⁻¹ de Ca) são liberadas dos resíduos aos 24 meses de idade. Por outro lado, *E. saligna* com remoção dos resíduos da colheita sem reposição no solo, apontou o Ca como elemento em maior quantidade, presente principalmente em galhos verdes (60,01 kg ha⁻¹), com um total de 163,64 kg ha⁻¹.

Para os micronutrientes a mesma sequência pode ser observada para estes tratamentos (T1 e T2), sendo Mn > Fe > Zn > B > Cu. Para os tratamentos que receberam a reposição dos nutrientes presentes no resíduo através da fertilização foi observado comportamento diferente dos demais. O tratamento com reposição de 50% dos resíduos por meio da fertilização apresentou o N > K > Ca > Mg > P > S com 193,46 kg ha⁻¹ de N presente principalmente nas folhas. Para os micronutrientes a sequência observada foi Mn > Fe > B > Zn > Cu, com destaque do Mn também nas folhas. A reposição de 100% dos nutrientes dos resíduos da colheita resultou em K > N > Ca > Mg > P > S, com 140,26 kg há⁻¹ de K. Já os micronutrientes apresentaram para o T3 a seguinte sequência Mn > Fe > B > Zn > Cu e para o T4, Mn > Fe > Zn > B > Cu.

Tabela 11 - Quantidade de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa do *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade sob efeito do manejo dos resíduos da colheita e fertilização.

Componente		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
		kg ha ⁻¹						mg ha ⁻¹					
T1*	Madeira	29.50	2.58	41.81	12.14	7.35	3.55	17.32	44.70	219.81	970.64	101.22	
	Casca	6.20	0.64	10.22	15.51	6.42	0.50	20.24	4.60	18.43	1048.96	7.03	
	Folha	59.05	4.92	34.63	32.25	12.13	3.50	89.70	20.23	134.33	1959.76	33.94	
	Galho vivo	25.42	5.68	39.89	42.20	9.32	1.25	38.37	30.47	95.88	1719.51	30.77	
	Galho morto	3.03	0.76	2.75	22.62	3.04	0.20	8.64	7.96	23.89	595.28	10.07	
	Total	123.21	14.58	129.31	124.72	38.25	9.01	174.27	107.96	492.34	6294.14	183.03	
T2	Madeira	31.64	5.18	50.65	38.93	9.75	2.96	24.09	44.59	171.37	1834.50	111.74	
	Casca	4.61	0.57	7.16	12.34	4.68	0.42	14.09	2.33	14.09	837.63	4.06	
	Folha	64.57	6.26	40.16	33.92	12.06	4.32	94.61	21.54	130.92	2000.76	38.30	
	Galho vivo	29.28	7.70	48.65	60.01	14.24	1.82	47.14	46.27	127.05	2510.96	63.46	
	Galho morto	2.54	0.21	1.22	18.44	2.21	0.16	4.15	4.47	19.24	462.44	13.54	
	Total	132.65	19.92	147.83	163.64	42.94	9.68	184.08	119.19	462.66	7646.30	231.09	
T3	Madeira	34.71	4.05	49.74	18.47	7.19	3.11	24.84	45.67	147.73	1423.93	61.25	
	Casca	3.60	0.27	5.96	9.58	3.15	0.31	13.19	3.23	18.25	980.57	9.56	
	Folha	122.62	6.88	64.92	38.78	15.85	6.50	165.74	29.44	246.29	4731.03	65.91	
	Galho vivo	27.67	3.51	39.85	25.21	6.56	1.85	32.45	25.94	62.80	2005.30	33.26	
	Galho morto	4.86	0.39	3.17	26.54	3.04	0.42	11.11	9.81	41.39	1313.41	14.11	
	Total	193.46	15.10	163.64	118.58	35.78	12.20	247.32	114.09	516.46	10454.24	184.09	
T4	Madeira	20.15	1.93	31.84	8.15	4.75	1.64	11.78	26.34	115.38	640.12	68.00	
	Casca	5.51	0.45	9.40	17.71	4.92	0.50	19.19	5.88	41.14	1492.03	12.38	
	Folha	75.57	4.62	47.94	34.37	10.61	4.39	106.37	24.00	179.60	3106.66	42.37	
	Galho vivo	32.49	6.40	50.00	43.80	9.47	1.69	43.18	43.04	145.31	2581.64	67.30	
	Galho morto	4.34	0.54	1.09	23.74	3.39	0.35	7.45	6.53	37.40	949.73	18.88	
	Total	138.05	13.94	140.26	127.78	33.15	8.57	187.96	105.79	518.83	8770.19	208.92	

*Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados.

De acordo com Borkert et al. (2003), a sequência de transferência, através dos compartimentos de uma planta, consiste na forma mais simples de reciclagem de nutrientes de modo a promover a continuidade de sistemas produtivos sustentáveis. Schumacher e Caldeira (2001), ao estimar a produção de biomassa e determinar a quantidade de nutrientes nos diferentes componentes das árvores de um povoamento de *Eucalyptus globulus* com 48 meses de idade, observaram que a quantidade total dos nutrientes no povoamento seguiu a seguinte proporção, $Ca > N > K > Mg > P$, sendo as folhas as que apresentam as maiores quantidade de N.

4. 5 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE NUTRIENTES

Na Tabela 12 é possível observar que a madeira foi o componente que apresentou maior valor para a eficiência de utilização nutricional (EUN). Este parâmetro permite avaliar a eficiência de utilização dos nutrientes, dessa forma quanto menor a quantidade de nutriente acumulado, maiores serão os valores dos coeficientes em cada um dos componentes florestais (MOURA et al., 2006). Esse tipo de informação permite propor modelos de intensidade de exploração, que dependerá da variação na taxa de remoção de nutrientes conforme sua disponibilidade em cada um dos componentes (VIERA et al., 2015).

A manutenção dos resíduos da colheita florestal sobre a superfície do solo aponta o P como elemento que apresentou maior eficiência na produção de madeira. Os demais tratamentos, todos com ausência dos resíduos da colheita tanto com reposição quanto sem, apontam o S como elemento de maior eficiência. De acordo com Faria et al. (2008) a eficiência de utilização dos nutrientes apresenta variações a medida que a disponibilidade de nutrientes no solo sofre alteração.

Stahl et al. (2013), observaram que a adição de P no solo contribuiu para o aumento de massa seca, atuando na eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii*. De acordo com Wadt et al. (1999), com o avanço da idade tem-se maior deficiência de P, maior desequilíbrio do Mg e diminuição da deficiência de Ca e N.

A presença dos resíduos da colheita na superfície do solo apresentou para o componente madeira a seguinte ordem de eficiência dos nutrientes: $P > S > Mg > Ca > N > K$, mesma sequência observada por Viera et al. (2015), em povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*.

A ausência dos resíduos sem e com reposição dos nutrientes (50% e 100% na forma de fertilizantes) apontaram $S > P > Mg > N > Ca > K$ e $S > P > Mg > Ca > N > K$, respectivamente. Melo et al. (1995), ao avaliarem a dinâmica dos nutrientes em oito perfis de solo em plantios de *E. saligna*, no Rio Grande do Sul, observaram que os valores de EUN seguem a seguinte ordem $P > Mg > K > Ca$.

Quanto aos micronutrientes todos os tratamentos apresentaram o B como elemento de maior eficiência. Já Beulch (2013) avaliando a ordem para a mesma espécie observou $Zn > B > Fe > Mn$.

Tabela 12 - Eficiência de utilização de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa de *Eucalyptus saligna*, aos 22 meses de idade, sob efeito do manejo dos resíduos e fertilização.

Tratamento	Componente	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
T 1*	Madeira	498.28	5699.29	351.58	1210.82	1999.74	4141.84	848504.84	328845.07	66874.82	15144.65	145227.75
	Casca	367.83	3567.89	223.08	147.01	355.03	4543.20	112672.24	495330.49	123726.55	2173.59	324457.17
	Folha	78.74	945.05	134.27	144.19	383.48	1327.14	51836.88	229900.32	34616.81	2372.74	137021.81
	Galho vivo	231.29	1034.73	147.40	139.33	631.01	4694.01	153263.39	192988.60	61326.70	3419.58	191079.38
	Galho morto	286.67	1140.92	316.35	38.46	286.59	4387.56	100671.09	109272.85	36410.52	1461.50	86365.13
T 2	Madeira	464.55	2836.69	290.24	377.65	1507.18	4966.23	610123.97	329652.52	85781.36	8013.09	131560.47
	Casca	494.55	4016.43	318.45	184.75	486.68	5442.71	161853.20	980346.15	161769.76	2721.96	562000.21
	Folha	72.01	743.35	115.79	137.07	385.67	1077.19	49147.26	215921.21	35518.87	2324.11	121419.14
	Galho vivo	200.80	763.20	120.86	97.99	412.81	3225.28	124722.44	127092.69	46281.79	2341.73	92659.29
	Galho morto	342.95	4084.91	715.14	47.17	394.50	5372.17	209829.37	194451.83	45221.58	1881.31	64257.25
T3	Madeira	423.51	3629.73	295.52	795.69	2043.19	4721.86	591807.85	321858.49	99507.34	10323.57	239986.00
	Casca	632.74	8500.70	382.85	238.07	724.63	7398.87	172844.11	706316.33	124902.32	2325.18	238393.41
	Folha	37.92	676.17	71.62	119.91	293.39	715.18	28056.63	157947.30	18880.34	982.87	70555.09
	Galho vivo	212.54	1675.81	147.56	233.21	896.85	3177.78	181224.55	226695.77	93626.08	2932.23	176803.13
	Galho morto	178.86	2208.64	274.57	32.78	286.44	2062.98	78323.73	88694.36	21022.09	662.40	61666.17
T4	Madeira	729.46	7624.31	461.70	1803.53	3093.73	8979.07	1248212.16	558085.09	127402.20	22964.40	216178.01
	Casca	414.05	5034.97	242.49	128.72	463.01	4563.35	118790.09	387746.29	55422.48	1528.12	184222.20
	Folha	61.54	1005.77	97.00	135.27	438.35	1059.17	43717.11	193757.31	25890.53	1496.78	109755.31
	Galho vivo	180.95	918.98	117.60	134.23	620.98	3489.18	136180.75	136628.64	40465.53	2277.62	87367.28
	Galho morto	200.64	1614.34	800.19	36.64	256.27	2454.44	116837.18	133167.85	23262.27	916.05	46091.52

*Em que: T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados.

5 CONCLUSÕES

O solo apresentou maior CTC efetiva na camada de 20 a 40 cm de profundidade com a reposição de 100% dos nutrientes exportados. Além disso, N foi o nutriente que apresentou maior estoque total no solo.

Para a idade de 22 meses o crescimento do *Eucalyptus saligna* mostrou-se superior com a reposição dos nutrientes na forma de fertilizantes. A reposição de 50% dos nutrientes presentes no resíduo da colheita na forma de fertilizante apresentou volume de madeira produzido estatisticamente igual ($p < 0,05$) à reposição de 100% dos nutrientes.

O índice de área foliar e a biomassa acima solo do *Eucalyptus saligna* aos 22 meses de idade não sofreu influência do manejo dos resíduos e a reposição dos nutrientes na forma de fertilizante.

A alocação de biomassa acima do solo seguiu a mesma ordem: madeira > galho verde > folhas > casca > galhos secos, tanto para a condição de manejos dos resíduos da colheita (presença e ausência) e quanto reposição dos nutrientes dos resíduos da colheita na forma de fertilização (50 e 100%).

A presença de resíduos da colheita sobre a superfície revelou a seguinte ordem na quantidade de macronutrientes presentes na biomassa $K > Ca > N > P > S$, enquanto que, a condição de ausência dos resíduos apresentou: $Ca > K > N > P > S$, mas com a mesma sequência para os micronutrientes, $Mn > Fe > Zn > B > Cu$. Para a condição de reposição de 50 % e 100 % dos nutrientes na forma de fertilizantes, foi observado $N > K > Ca > Mg > P > S$ e $K > N > Ca > Mg > P > S$, respectivamente para os macronutrientes e $Mn > Fe > B > Zn > Cu$ e $Mn > Fe > Zn > B > Cu$ para os micronutrientes.

6 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados apontados neste estudo é possível fazer as seguintes recomendações:

- ✓ É necessário continuar o presente estudo até o final do ciclo da espécie (7 a 8 anos), tendo em vista que o *E. saligna* ainda está sob forte efeito da adubação de plantio e os nutrientes presentes no resíduo ainda não foram disponibilizados.
- ✓ Apesar da ausência dos resíduos da colheita com reposição de 100% dos nutrientes presentes ter contribuído para maiores estoques de nutrientes no solo, são necessários estudos em longo prazo a fim de verificar a dinâmica dos nutrientes no solo e na planta.
- ✓ Estudos que envolvem o manejo dos resíduos da colheita necessitam de ser acompanhados até o final do ciclo da espécie de modo que as informações de produtividade, associadas ao ecossistema permitam obter informações sobre a sustentabilidade do povoamento florestal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. M. Z. et al. Alterações morfológicas e alocação de biomassa em plantas jovens de espécies florestais sob diferentes condições de sombreamento. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.35, n.1, p. 62-68, jan./fev. 2005.

ALVES, A. M. C. et al. Quantificação da produção de biomassa em clones de eucaliptos com 4,5 anos, no polo gesseiro do Araripe-PE. **Revista de Ciências Agrárias / Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**. Belém, n.48, p. 161-173, jul./dez. 2007.

ARAUJO, R. W. **A expansão do eucalipto nos municípios de Barra do Ribeiro e Mariana Pimental – RS**. 2011, 94 f. Monografia (Bacharel em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 94 p., 2011.

ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Pará, Brazil. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.117, n.1-3, p. 43-52, mai. 1999.

ARES, A.; FOWNES, J. H. Productivity, nutrient and water-use efficiency of *Eucalyptus saligna* and *Toona ciliata* in Hawaii. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.139, n.1-3, pag. 227-236, 2000.

ARNOLD, R. J.; CLARKE, B.; LUO, J. **Trials of cold-tolerant eucalypt species in cooler regions of South Central China**. 2004. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/113922/2/tr57-web.pdf>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

ARTAXO, P. et al. Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n.2, p. 185-196, abr./jun. 2005.

BARRICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V. VOGEL, H. L. M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. na região sul do Brasil. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.15, n. 2, p. 129-135, jun. 2005.

BARROS, N. F. et al. Análise do crescimento de *Eucalyptus saligna* em solo de cerrado sob diferentes níveis de N. P. e K. no Vale do Jequitinhonha, MG. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p. 13-17, abr. 1984.

BAYER, C.; BERTOL, I. Características químicas de um cambissolo húmico afetadas por sistemas com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v.23, p. 687-694, 1999.

BAZANI, J. H.; GONLÇALVES, J. L. M.; ROCHA, J. H. T. Nutrição fosfatada em plantações de eucalipto. **Informações agrônômicas**, Interntational Plant Nutrition Institute, p. 1-28, dez. 2014.

BELLOTE, A. F. J.; DEDECEK, R. A.; SILVA, H. D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, n.56, p.31-41, jan./jun. 2008.

BERGER, R. et al. Efeito do espaçamento e da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v.12, n.2, p. 75-87, 2002.

BETT, P. K. et al. Chemical composition of *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains. **Industrial Crops and Products**. v.82. p. 51-62. abr. 2016.

BEULCH, L. S. **Biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith submetido ao primeiro desbaste**. 2013. 58f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

BOLAND, D.J. et al. **Forest trees of Australia**. Melbourne, Nelson, 1984. 687p.

BOND-LAMBERTY, B. et al. Disturbance legacies and climate jointly drive tree growth and mortality in an intensively studied boreal forest. **Global change biology**, v.20, n.1, p. 2016-227, jan. 2014.

BORKET, C. M. B. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n.1, p. 143-153, jan. 2003.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília- DF, 2 ago. 2010. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/zip/LF12305.pdf>> Acesso em: fev. 2015.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Exportação de nutrientes em função do tipo de exploração em um povoamento de *Acacia mearnsii* de Wild. **Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v.9, n.1, p.97-104, Jan./dez. 2002.

CHAVE, J et al. Regional and seasonal patterns of litterfall in tropical South America. **Biogeosciences**, v. 7, p. 43-55, jan. 2010.

CHEN, J. M.; BLACK, T. A. Defining leaf area index for non-flat leaves. **Plant, Cell and Environment**, v.15, p. 421-429, mai. 1992.

CLARK, D. A. et al. Measuring net primary production in forest: concepts and field methods. **Ecological Applications**, Washington, v. 11, n. 2, p. 356-370, abr. 2001.

CONSENSA, K. B. (2015). Dados não publicados

CORRÊA, C. A.; IRGANG, B. E.; MOREIRA, G. R. P. Estrutura floral das angiospermas usadas por *Heliconius erato phyllis* (Lepidoptera, Nymphalidae) no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Iheringia**. Porto Alegre, v.90, p. 71-84, mai. 2001.

COSTA, F. S. et al. Métodos para avaliação das emissões de gases do efeito estufa no sistema solo-atmosfera. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.36, n.2, p. 693-700, mar./abr. 2006.

COUTO, H. T. Z. et al., Quantificação de resíduos florestais para produção de energia em povoamentos de *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, n. 26, p. 19-23, abr. 1984.

CQFS – RS/SC. 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**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400p.

DEDECEK, R. A.; BELLOTE, A. F. J.; MENEGOL, O. Influence of residue management and soil tillage on second rotation *Eucalyptus* growth. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, n.74, p. 9-17, jun. 2007.

DJOMO, A. N. et al. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.260, n.0, p. 1873-1885, out. 2010.

ELMAJDOUB, B.; MARSCHNER, P. Responses of Soil Microbial Activity and Biomass to Salinity After Repeated Additions of Plant Residues. **Pedosphere**, v.25, n.2, p. 177-185, abr. 2015.

EPRON, D. et al. Impacts of organic residue management on the soil C dynamics in a tropical eucalypt plantation on a nutrient-poor sandy soil after three rotations. **Soil biology and Biochemistry**, v.85, p. 183-189, 2015.

EUFRATE JUNIOR, H. J. et al. Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. **Biomass and Bioenergy**, v.90, p. 15-21, jul. 2016.

FARIA, G. E. et al. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, jul./set. 2008.

FREITAS, S. R. et al. Emissões de queimadas em ecossistemas da América do sul. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 167-185, jan./abr. 2005.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; SANTOS, G. A. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v. 29, p. 893-901, nov./dez. 2005.

GATTO, A. et al. Estoque de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v. 34, p.1069-1079, 2010.

GONÇALVES, J. C. et al. Crescimento, partição de biomassa e fotossíntese em plantas jovens de 193 *Genipa spruceana* submetidas ao alagamento. **Cerne**. Lavras, v.19, n.2, p. 193-200, abr./jun. 2013a.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v. 301, p.6-27, ago. 2013b.

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, p.601-616, 2001.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da mata atlântica. **Documentos Florestais**, v.15, p. 1-23, 1995.

GUTTIERREZ G.L. **Atlas del Eucalipto**. Sevilla: Ministério de Agricultura - Instituto Nacional de Invenstigaciones Agrárias -Instituto para la Concervacion de la Naturaleza, 1976. N° de páginas.

HAAG, H. P. et al. **Análise foliar em cinco espécies de eucaliptos**. Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, v. 34, p. 31-44, 1977 . Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0071-12761977000100003&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 24 mai. 2016.

HELMISAARI, H. S. et al. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.261, n.11, p. 1919-1927, jun. 2011.

HERNÁNDEZ, J.; PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of a *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.258, n.2, p.92-99, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas e vegetação do Brasil**, Brasília, Distrito Federal, 2004. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>>. Acesso em 23 ago. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de relevo do Brasil**, Brasília, Distrito Federal, 2004. Disponível em:<ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/brasil/relev_2006.pdf>. Acesso em 23 ago. 2016

JESUS, G. L. et al. Doses e fontes de nitrogênio na produtividade e nas frações da matéria orgânica em solo da região do cerrado em Minas Gerais. **Revista Brasileira Ciência do solo**. Viçosa, v.36, n.1, p. 201-214, jan./fev. 2012.

JONES, H. S. et al. Harvest residue management and fertilization effects on soil carbon and nitrogen in a 15-years-old *Pinus radiata* plantation forest. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.262, n.3, p. 339-347, ago. 2011.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. **Improved species climatic profiles**: a report for the RIRDC/L&W Australia/FWPRDC/MDBC Joint Venture Agroforestry Program. 2002. (RIRDC Publication, n. 02/095). Disponível em: <<https://rirdc.infoservices.com.au/items/02-095>>. Acesso em: 21 abr. 2016.

KUMARASWAMY, S. et al. Harvest residue effects on soil organic matter, nutrients and microbial biomass in eucalypt plantations in kerala, India. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.328, p. 140-149, set. 2014.

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, n.3, p. 181-196, abr. 2000.

LANDRY, C. et al. Litterfall and leaf litter decomposition in a central African tropical mountain forest and *Eucalyptus* plantation. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.326, p. 109-116, 2014.

LONDERO, E. K. et al. Calibração do modelo 3-pg para *Eucalyptus saligna* Smith na região de Guaíba - RS. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.25, n.2, p. 293-305, jun. 2015.

LUCA, E. F. et al.. Eficiência de absorção e utilização do fósforo por mudas de eucalipto e arroz. **Revista Scientia Agrícola**, v. 59, n.3, p. 543-547, jan. 2002.

MACHADO, S. do A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Guarapuava/PR: UNICENTRO, 316 p. 2009.

MACIEL, C. G. et al. *Trichoderma* spp no biocontrole de *Cylindrocladium candelabrum* em mudas de *Eucalyptus saligna*. **Revista Árvore**. Viçosa, v.36, n.5, p. 825-832, 2012.

MACINNIS-NG, C. M. et al. Rainfall partitioning into throughfall and stemflow and associated nutrient fluxes: land use impacts in a lower montane tropical region of Panama. **Biogeochemistry**, v.111, n.1, p. 661-676, fev. 2012.

MADEIRA, M. et al. Efeito da gestão dos resíduos de abate nas características do solo e no crescimento de uma plantação de *Eucalyptus globulus*, em talhadia. **Revista de Ciências Agrárias**. Portugal, v.27, n.1, p. 414-431, 2004.

MAFFEIS, A. R.; SILVEIRA, R. L. V. A; BRITO, J. O. B. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. **Scientia Forestalis**, n. 57, p. 87-98, jun. 2000.

MAIRE, G. L. et al. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of *Eucalyptus* plantations. **Remote Sensing of Environment**, v.115, n.2, p. 586-599, fev. 2011.

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

MANZONI S. et al. Environmental and stoichiometric controls on microbial carbon use efficiency in soils. **New Phytologist**, v. 196, p. 79–9, jul. 2012.

MATA, D. G.; MORENO-CASASOLA, P.; MADERO-VEGA, C. Litterfall of tropical forested wetlands of Veracruz in the coastal floodplains of the Gulf of Mexico. **Aquatic Botany**, v.98, n.1, 1-11, abr. 2012.

MAZURANA, M. et al. Balanço de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna* implantado sobre Cambissolo Háplico no RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 9. P. 924-930, jun. 2011.

MELO, V. F. et al. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em p, k, ca e mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. **IPEF**, n. 48/49, p. 8-17, jan./dez. 1995.

MHANDO, M. L.; MAIONDO, S. M.; MUGASHA, A. G. Early response of *Eucalyptus saligna* to site preparation and fertilisation at Sao Hill, Tanzania. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.62, n.1-4, p. 303-311, dez. 1993.

MIYAZAWA, M. et al. Análises químicas de tecido vegetal. In: SILVA, F.C. (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. cap. 4, p.171-224.

MOLLMANN JUNIOR, R. A. et al. Estudo da dispersão de monóxido de carbono emitido por queimadas na Amazônia legal em 19 agosto de 2010 baseado em: simulações do modelo WRF-CHEM e Sensoriamento Remoto. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, ed. Especial SIC, p. 144-152, 2015.

MOYIN-JESU, E. I. Use of plant residues for improving soil fertility, pod nutrients, root growth and pod weight of okra (*Abelmoschus esculentum* L). **Bioresource Technology**, v.98, n.1, p. 2057-2064, ago. 2007.

MUÑOZ, F. et al. The effect of pruning and thinning on above ground aerial biomass of *Eucalyptus nitens* (Deane & Maiden) Maiden. **Forest Ecology and Management**. **Amsterdam**, v.255, n.3-4, p. 365-373, mar. 2008.

NAVE, L. E. et al. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.259, n.5, p. 857-866, fev. 2010.

O'CONNELL, A. M. et al. Impact of harvest residue management on soil nitrogen dynamics in *Eucalyptus globulus* plantations in south western Australia. **Soil Biology & Biochemistry**, v.36, n.1, p. 36-48, jan. 2004.

OLIVEIRA, J. T. S.; SILVA, J. C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**. Viçosa, v.27, n.3, p. 381-385, 2003.

OLIVEIRA NETO, S. N. et al. Produção e distribuição de biomassa em *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. em resposta à adubação e ao espaçamento. **Revista Árvore**. Viçosa, v.27, n.1, p.15-23, jan/fev. 2003.

ONG, C. S.; JUAN, J. C.; YULE, C. M. Litterfall production and chemistry of *Koompassia malaccensis* and *Shorea uliginosa* in a tropical peat swamp forest: plant nutrient regulation and climate relationships. **Trees**, v. 29, n.2, p. 527-537, abr. 2015.

PAES, F. A. S. V. et al. Impacto do manejo dos resíduos da colheita, do preparo do solo e da adubação na produtividade de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.37, n.4, p. 1081-1090, abr. 2013.

PARSONS, S. A. et al. Spatial variability in litterfall, litter standing crop and litter quality in a Tropical Rain Forest Region. **Biotropica**, v.46, n.4, p. 378-386, jul. 2014.

PAULA, L. E. R.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Revista Cerne**, Lavras, v.17, n.2, p. 237-246, jun. 2011.

PEREIRA, J. C. D.; et al. In: **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.

PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L. Evaluating the tropical forest carbon sink. **Global change biology**, v.20, p. 2039-2041, 2014.

POGGIANI, F.; COUTO, H. T. Z.; SIMÕES, J. W. Aspectos ecológicos das “mini-rotações” e do aproveitamento dos resíduos florestais. **Circular técnica**, IPEF. Piracicaba, n.74, 1979.

PULROLNIK, K. et al. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v. 33, p. 1125-1136, 2009.

QUENTIN, A. G. et al. Effects of partial defoliation on closed canopy *Eucalyptus globulus* Labillardière: Growth, biomass allocation and carbohydrates. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.261, p. 695-702, fev. 2011.

RACHAWAL, M. F. G. et al. Manejo dos resíduos da colheita de acácia-negra (*Acacia mearnsii* DE WILD) e a sustentabilidade do sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.17, n.2, p. 137-144, abr./jun. 2007.

RAIMUNDO, F. et al. Simulação lisimétrica da gestão da folhada de *Castanea sativa*. Efeito na lixiviação de nutrientes e nas características químicas do solo. **Revista de Ciências Agrárias**. Portugal, v.25, p. 101-119, jan. 2002.

REINER, D. A.; SILVEIRA, E. R.; SZABO, M. S. O uso do eucalipto em diferentes espaçamentos como alternativa de renda e suprimento da pequena propriedade na região sudoeste do Paraná. **Revista Synergismus Scyentifica**. Pato Branco, v.6, n.1, 2011.

ROCHA, J. H. T. et al. Nutrição e sustentabilidade de plantações florestais. Bases para tomada de Decisões na silvicultura. In: 3º ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 3., Campinas. **Anais...** Campinas, 2014. Disponível em: < <http://www.expoforest.com.br/silvicultura/wp-content/uploads/2013/09/encontro-silvicultura-2014-bloco-2-pdf-artigo-pag-149.pdf>>. Acesso em: 4 mai. 2016.

SANQUETTA, C. R. et al. Eficiência de conversão da radiação fotossintética interceptada em fitomassa de mudas de *Eucalyptus dunii* Maiden em função da densidade de plantas e do ambiente de cultivo. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.42, n.104, p. 573-580, dez. 2014.

SANTANA, R. C. et al. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, n. especial, p.2723-2733, 2008b.

SANTANA, R. C. et al. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**. Viçosa, v.32, n.34, p.697-706. Jul./ago. 2008a.

SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. Biomassa e conteúdo de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Scientia Forestalis**, n. 56, p. 155-169. Dez.1999.

SCHROTH, G. et al. Nutrient fluxes in rainfall, throughfall and stemflow in tree-based land use systems and spontaneous tree vegetation of central Amazonia. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v.87, n.1, p. 37-49, out. 2001.

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, 2001.

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

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R.; CALIL, F. N. Biomassa em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de pequenas propriedades rurais em Vera Cruz, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.21, n.1, p. 17-22, jan./mar. 2011.

SCHUSTER, M. J. Increased rainfall variability and N addition accelerate litter decomposition in a restored prairie. **Oecologia**, v.180, n.3, p. 645-655, mar. 2015.

SEREDA, E.; WOLTERS, V.; BIRKHOFER, K. Addition of crop residues affects a detritus-based food chain depending on litter type and farming system. **Basic and Applied Ecology**, v.16, n.8, p. 1-9, dez. 2015.

SILVA, A. R.; DIAS JUNIOR, M. S.; LEITE, F. P. Camada de resíduos florestais de preconsolidação de dois latossolos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.42, n.1, p.89-93. jan. 2007.

SILVA, H. D. et al. Alocação de biomassa e ajuste de equações para estimativa de biomassa em compartimentos aéreos de *Eucalyptus benthamii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**. Colombo, n.48. p. 83-95, jul./dez. 2004.

SILVA, M. A. et al. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.21, n.4, p. 765-776, out./dez. 2011.

SMOLANDER, A.; SAARSALMI, A.; TAMMINEN, P. Response of soil nutrient content, organic matter characteristics and growth of pine and spruce seedlings to logging residues. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, v.357, p. 117-125, dez. 2015.

SOARES, H. et al. Efeitos da gestão de resíduos de abate no crescimento inicial de *Eucalyptus globulus* Labil.: resultados de um estudo lisimétrico. **Revista de Ciências Agrárias**. Portugal, v.25, n.3-4, p. 394-410, 2002.

SOUZA, P. A.; MELLO, W. Z.; MALDONADO, J. Composição química da chuva e aporte atmosférico na Ilha Grande, RJ. **Química Nova**. São Paulo, v.29, n.3, p. 471-476, mai./jun. 2006.

STAPE, J. L., GONÇALVES, J. L. M.; GONÇALVES, A. N. Relationships between nursery practices and field performance for *Eucalyptus* plantations in Brazil: a historical overview and its increasing importance. **New Forests**, v.22, n.1, p. 19-41, abr. 2001.

STAHL, J et al. Produção de massa seca e eficiência nutricional de clones de *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus benthamii* em função da adição de doses de fósforo ao solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 287-295, abr./jun. 2013.

STIPP, S. R.; CASARINI, V. 2010. A importância do enxofre na agricultura brasileira. **Informações agronômicas**, nº 129, p. 14-20, 2010.

TANG, J.W. et al. Litterfall production, decomposition and nutrient use efficiency varies with tropical forest types in Xishuangbanna, SW China: a 10-year study. **Plant soil**, v.335, n.1, p. 271-288, out. 2010.

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

TONINI, H. SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento de clones de *Eucalyptus saligna* Smith, na depressão central e serra do sudeste, Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.14, n.2, p.61-77, 2004.

TRAMONTANA, G. et al. Uncertainty analysis of gross primary production upscaling using Random Forests, remote sensing and eddy covariance data. **Remote Sensing of Environment**, v. 168, p. 360-373, 2015.

UMA, T.; SARAVANAN, T.; RAJENDRAN, K. Growth, litterfall and litter decomposition of *Casuarina equisetifolia* in a semiarid zone. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 26, n.1, p. 125-133, 2014.

VANHALA, P. et al. Boreal forests can have a remarkable role in reducing greenhouse gas emissions locally: Land use-related and anthropogenic greenhouse gas emissions and sinks at the municipal level. **Science of The Total Environment**, p. 51-57, jul. 2016.

VICENTE-SERRANO, S. M. et al. Evapotranspiration deficit controls net primary production and growth of silver fir: Implications for Circum-Mediterranean forests under forecasted warmer and drier conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.206, p. 45-54, 2015.

VIERA, M. et al. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus urograndis* na Serra do Sudeste-RS. **Semina: Ciências Agrárias**. Londrina, v.33, n.1, p. 2481-2490, 2012.

VIERA, M. et al. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 45, n.3, p. 432-439, mar. 2015.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Teores e aporte de nutrientes na serapilheira de *Pinus taeda* L., e sua relação com a temperatura do ar e pluviosidade. **Revista Árvore**. Viçosa, v.34, n.1, p.85-94, já./fev. 2010.

WADT, P. G. S. et al. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e Chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. Viçosa, v.22, p. 685-692, out./dez. 1998.

WADT, P. G. S et al. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 1797-1803, out. 1999.

WHITE, A. F. et al. The impact of biotic/abiotic interfaces in mineral nutrient cycling: A study of soils of the Santa Cruz chronosequence, California. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.77, p. 62-85, mar. 2012.

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

WREGGE, M. S. et al. Evapotranspiração potencial. In: MATZENAUER, R.; RADIN, B.; ALMEIDA, I. R. de (org.). **Atlas climático do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CEMETRS/FEPAGRO. 2013. 185p.

WU, C.; CHEN, J. M. The use of precipitation intensity in estimating gross primary production in four northern grasslands. **Journal of Arid Environments**, v. 82, p. 11-18, jul. 2012.

WU, Z.; DYE, D.; VOGEL, J.; MIDDLETON, B. Estimating Forest and Woodland Aboveground Biomass Using Active and Passive Remote Sensing. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 82, n.4, p. 271-281, abr. 2016.

WUZBURGER, N.; WRIGHT, S. J. Fine-root responses to fertilization reveal multiple nutrient limitation in a lowland tropical forest. **Ecological Society of America**, v.96, n.8, p. 2137-2146, ago. 2015.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do Índice de área foliar em clones de eucalipto a longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**. Viçosa, v.26, n.4, p. 421-427, jul./ago. 2002.

YUAN, W. et al. Global estimates of evapotranspiration and gross primary production based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n.7, p. 1416-1431, 2010.

YULE, C. M. Loss of biodiversity and ecosystem functioning in Indo-Malayan peat swamp forests. **Biodiversity and Conservation**, v.19, n.2, p. 393-409, fev. 2010.

APÊNDICE

APÊNDICE A - ASPECTO DA OBTENÇÃO DA ÁREA FOLIAR MÉTODO DO INTEGRADOR ELETRÔNICO DE SUPERFÍCIE (LiCor 3000, LICOR, EUA)



APÊNDICE B - ASPECTO DA QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA DO *Eucalyptus saligna*, AOS 22 MESES DE IDADE. A) seleção da árvore média; B) separação das folhas; C) pesagem das folhas; D) pesagem do fuste; E) descascamento do fuste; F) pesagem dos galhos.



APÊNDICE C - ASPECTO DO PREPARO DAS AMOSTRAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE NUTRIENTES DO *Eucalyptus saligna*, AOS 22 MESES DE IDADE, NO LABORATÓRIO DE ECOLOGIA FLORESTAL (LABEFLO) DA UFSM. A) secagem das amostras; B) amostra em processo de trituração em moinho com lâminas do tipo Wiley C) amostras moídas; D) pesagem das amostras; E) análise do teor de nutrientes.



APÊNDICE D – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DAS EQUAÇÕES DE AJUSTE DO CRESCIMENTO DO *Eucalyptus saligna* AOS 22 MESES DE IDADE. A) ajuste linear; B) ajuste quadrático; C) ajuste cúbico.

(A)

Diâmetro a altura do peito (DAP)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (cm)	R ² aj	CV
T1	-1.30432	0.51337	-----	-----	0.8844	0.9171	14.78
T2	-1.20778	0.50500	-----	-----	0.8959	0.9126	14.44
T3	-1.47352	0.54437	-----	-----	0.7730	0.9426	11.95
T4	-1.34621	0.55058	-----	-----	0.9712	0.9198	13.89
Altura (m)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (m)	R ² aj	CV
T1	-0.80983	0.52084	-----	-----	0.7079	0.9466	10.35
T2	-0.71867	0.51817	-----	-----	1.0421	0.8903	15.14
T3	-0.80785	0.52604	-----	-----	0.6370	0.9576	9.28
T4	-0.89528	0.55187	-----	-----	0.8807	0.9279	12.27
Volume (m³)							
Tratamento	B0	B1	B2	B3	Sy. X (m ³)	R ² aj	CV
T1	-0.1991	0.00252	-----	-----	0.0059	0.8584	34.27
T2	-0.0194	0.00248	-----	-----	0.0063	0.8376	36.88
T3	-0.02283	0.00285	-----	-----	0.0053	0.8705	33.80
T4	-0.02425	0.00308	-----	-----	0.0072	0.8579	34.50

Em que: β_i = coeficientes dos modelos; Sy.x = erro-padrão da estimativa; coeficiente de determinação ajustado, CV = coeficiente de variação do modelo, T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados, ^{ns} não significativo a 5%

(B)

Diâmetro a altura do peito (DAP)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (cm)	R ² aj	CV
T1	-5.119	1.13896	-0.02164	-----	0.7223	0.9445	11.58
T2	-5.02405	1.1309	-0.02164	-----	0.7361	0.9410	11.87
T3	-4.5386	1.04845	-0.01746	-----	0.6543	0.9589	10.12
T4	-5.45934	1.22564	-0.02336	-----	0.7502	0.9579	11.19
Altura (m)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (cm)	R ² aj	CV
T1	-2.05196	0.72454	0.00704	-----	0.6890	0.9494	10.07
T2	-2.36403	0.78802	0.00933	-----	1.0198	0.8950	14.81
T3	-1.97072	0.71758	0.00664	-----	0.6182	0.9601	10.01
T4	2.86824	0.87568	0.01120	-----	0.8409	0.9343	11.42
Volume (m ³)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (cm)	R ² aj	CV
T1	0.00282 ^{ns}	-0.00121	0.00012895	-----	0.0050	0.8967	22.93
T2	0.00145 ^{ns}	0.00094	0.0001823	-----	0.0056	0.8699	33.30
T3	0.00659	0.002	0.000167	-----	0.0049	0.9214	22.63
T4	0.00369 ^{ns}	0.00151	0.0001586	-----	0.0061	0.8966	22.94

Em que: β_i = coeficientes dos modelos; Sy.x = erro-padrão da estimativa; coeficiente de determinação ajustado, CV = coeficiente de variação do modelo, T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados, ^{ns} não significativo a 5%

(C)

Diâmetro a altura do peito (DAP)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (cm)	R ² aj	CV
T1	-9.46423	2.22955	-0.10352	0.00189	0.7020	0.9476	11.25
T2	-9.75881	2.32007	-0.11099	0.00206	0.7123	0.9447	11.48
T3	-8.99836	2.17104	-0.10187	0.00195	0.6340	0.9618	9.75
T4	-12.6118	3.02296	-0.15849	0.00312	0.6942	0.9554	10.35
Altura (m)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (cm)	R ² aj	CV
T1	-10.8857	2.94163	-0.173510	0.00384	0.5922	0.9626	8.65
T2	-10.2528	2.76934	-0.1582	0.00343	0.9711	0.9048	14.11
T3	-9.86399	2.70233	-0.15587	0.00344	0.5327	0.9704	7.76
T4	-11.1319	2.95222	-0.16733	0.00360	0.7740	0.9443	10.78
Volume (m ³)							
Tratamento	β_0	β_1	β_2	β_3	Sy. X (cm)	R ² aj	CV
T1	-0.01664	0.00362	-0.00023361 ^{ns}	0.00000835	0.0049	0.8989	28.96
T2	-0.01595	0.00343 ^{ns}	-0.00021012 ^{ns}	0.00000757	0.0056	0.8715	32.81
T3	-0.01963	0.0046	-0.00032795	0.00001144	0.0048	0.9247	25.77
T4	-0.02871	0.00664	-0.00045348	0.00001412	0.0060	0.9010	28.80

Em que: β_i = coeficientes dos modelos; Sy.x = erro-padrão da estimativa; coeficiente de determinação ajustado, CV = coeficiente de variação do modelo, T1 = manutenção dos resíduos de colheita sobre a superfície do solo, T2 = remoção dos resíduos sem reposição dos nutrientes, T3 = remoção dos resíduos com reposição de 50% da quantidade de nutrientes exportados e T4 = remoção dos resíduos com reposição de 100% dos nutrientes exportados, ^{ns} não significativo a 5%