

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

**QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E NUTRIENTES  
EM PLANTIOS DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* EM  
SOLOS DISTINTOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Simone Martini Salvador**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2015**

**QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E NUTRIENTES EM  
PLANTIOS DE *EUCALYPTUS UROGRANDIS* EM SOLOS  
DISTINTOS**

**por**

**Simone Martini Salvador**

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

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

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2015**

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

Martini Salvador, Simone  
QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE  
EUCALYPTUS UROGRANDIS EM SOLOS DISTINTOS / Simone  
Martini Salvador.-2015.  
83 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, 2015

1. Solos Florestais 2. Nutrição Florestal 3.  
Sustentabilidade 4. Ciclagem de Nutrientes I. Valdir  
Schumacher, Mauro II. Título.

---

© 2015

Todos os direitos autorais reservados a Simone Martini Salvador. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante citação da fonte.

Endereço: Laboratório de Ecologia Florestal, Sala 5248, 2º Piso, Prédio 44, CCR, UFSM, Avenida Roraima, n. 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria, RS. CEP: 97105-900. Fone: (055) 32208641, E-mail: simone.ufsm@gmail.com

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

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

**QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS  
DE *Eucalyptus urograndis* EM SOLOS DISTINTOS**

elaborado por  
**Simone Martini Salvador**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

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

---

**Vicente Guilherme Lopes, Dr. (UNIPAMPA)**

---

**Hamilton Luiz Munari Vogel, Dr. (UNIPAMPA)**

Santa Maria, 27 de fevereiro de 2015.

*Dedico este trabalho a minha família,  
alicerce da minha formação, e ao meu  
esposo, que sempre me apoiaram.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial:

A Deus, pela vida e a chance de chegar até aqui;

Aos meus pais Altair e Rudia e a minha irmã Gabriela, os quais sempre me apoiaram em minhas decisões, dando-me força e coragem para seguir em frente, auxiliando em todos os momentos e torcendo para que tudo desse certo;

Ao meu esposo Fernando, obrigada pelo apoio, companheirismo, força, carinho e consolo em todos os momentos e além de tudo, pela compreensão;

A minha querida instituição de ensino, UFSM, minha segunda casa ou talvez nos últimos 7 anos, meu lar, pela oportunidade de fazer parte de seu quadro de alunos, e contribuir através de meus professores, para minha formação, desde a graduação até este momento;

Ao CNPq pela bolsa de estudos concedida, fundamental para que eu pudesse me dedicar exclusivamente aos estudos;

Ao meu orientador Professor titular Dr. nat. techn. Mauro Valdir Schumacher pela orientação, amizade, compreensão e conhecimentos repassados;

Aos co-orientadores, Prof. Dr. Paulo Renato Schineider e Prof. Phd. Dalvan Jose Reinert;

A empresa Klabin, através do Eng. Florestal M. Sc. James Stahl, pela oportunidade de desenvolver este trabalho, concedendo sua área e apoio financeiro para a realização deste estudo. Bem como, a sua equipe de trabalho; Luis, Nassier, Rivair, Anderson, Daniel e Rodrigo, obrigada por toda ajuda nas coletas a campo, pela amizade e apoio;

A equipe de trabalho do Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, Vitor, Cristiano, Rudi, Jorge, Catarine, Dione, Franciele, Alana, Joel, Tamires, Bernardo, Gilce e Aline, pela ajuda nas análises de laboratório, mas principalmente pela amizade, companheirismo e apoio durante todos os anos de convívio;

Aos Professores Dr. Vicente Lopes e Dr. Hamilton Vogel que aceitaram fazer parte da banca avaliadora e contribuíram para realização deste trabalho.

Aos meus verdadeiros amigos, que mesmo distantes sempre me deram força, apoio e principalmente a amizade que sempre nos manteve unidos, mostrando que a distância é um simples detalhe, pois para a amizade não existem limites, nem fronteiras;

Em fim, obrigada a todos aqueles, que de uma forma ou outra contribuíram para a construção deste trabalho, pois a elaboração de um trabalho só é possível com a ajuda de muitas pessoas.

A todos, meu sincero MUITO OBRIGADA!

*“É preciso acreditar, pois acima de trabalho, dedicação e força de vontade, os sonhos nos levam ao longe, e a busca da sua realização pode ser um simples fato de persistência, alimentada por muita esperança”.*

*(Simone Salvador)*

## RESUMO

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

### QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E NUTRIENTES EM PLANTIOS DE *Eucalyptus urograndis* EM SOLOS DISTINTOS

AUTORA: SIMONE MARTINI SALVADOR

ORIENTADOR: Prof. Dr. nat. techn. MAURO VALDIR SCHUMACHER

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de fevereiro de 2015.

O presente trabalho teve por objetivo obter informações a fim de contribuir para o manejo nutricional da espécie *Eucalyptus urograndis*, com base na caracterização nutricional, em dois diferentes tipos de solo, para a região de Telêmaco Borba – PR. Delimitou-se 4 parcelas localizadas em cada solo, realizando a medição de todos os diâmetros e escolha das árvores para serem abatidas. As árvores foram seccionadas ao nível do solo e fracionadas nos componentes: folhas, galhos, casca, madeira do tronco, raiz e ponteira, coletando-se uma amostra representativa de cada fração, bem como a pesagem para determinação da biomassa. Para a coleta da serapilheira acumulada foram coletadas 10 amostras em cada parcela. Toda a vegetação, contida dentro da área útil de cada árvore abatida ( $7,5 \text{ m}^2$ ), foi considerada como sub-bosque onde coletou-se toda a biomassa acima e abaixo do solo. Todas as amostras de biomassa, sub – bosque e serapilheira foram encaminhadas para o Laboratório, onde foram secas a  $70^{\circ}\text{C}$ , e após foram encaminhadas para análise química para determinação dos macro e micronutrientes. A biomassa arbórea total encontrada para o presente estudo foi de  $257,99 \text{ Mg ha}^{-1}$ , com uma contribuição relativa de 1,01 %; 2,69 %; 5,23 %; 74,38 %; 16,69 % de F, G, C, M, R, respectivamente, para o solo A. No solo B a biomassa arbórea total encontrada foi de  $301,21 \text{ Mg ha}^{-1}$ , com contribuição relativa por compartimento de 1,33 % de F; 3,80 % de G; 8,33 % de C; 74,28 % de M e 12, 27 % de R. O estoque total de macro e micronutrientes foi de  $1,64 \text{ Mg ha}^{-1}$ , para o solo A, sendo que a maioria dos nutrientes encontram-se em maiores quantidades no compartimento madeira, exceto Ca na casca e Fe no compartimento raiz. Para o solo B, o estoque total de nutrientes foi de  $2,39 \text{ Mg ha}^{-1}$  e a maioria dos nutrientes também apresentou como maior compartimento de ocorrência a madeira, exceto Ca e Mg que estão nas casca e B e Fe que estão no compartimento raízes. A serapilheira acumulada apresentou uma biomassa em solo arenoso de  $17,35 \text{ Mg ha}^{-1}$ , e um estoque total de nutrientes de  $335,73 \text{ kg ha}^{-1}$ , já para o solo B, a biomassa foi de  $20,93 \text{ kg ha}^{-1}$  e o estoque total de nutrientes foi de  $456,76 \text{ kg ha}^{-1}$ , e a magnitude total da quantidade de macronutrientes na serapilheira acumulada foi de  $\text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{K} > \text{S} > \text{P}$ , em ambos os tipos de solo. A biomassa total encontrada no sub-bosque foi de  $1,08 \text{ Mg ha}^{-1}$  e o estoque total de nutrientes foi de  $37,96 \text{ kg ha}^{-1}$  para o solo A, contudo, para o solo B, a biomassa total foi de  $0,88 \text{ Mg ha}^{-1}$  e o estoque total de nutrientes foi de  $36,94 \text{ kg ha}^{-1}$ , sendo que em ambos os tipos de solo a maior contribuição relativa foi de N com 50% para o solo A e 53% para o solo B. Dentre as simulações realizadas, no primeiro sistema de colheita o total de nutrientes exportado do sítio seria de 48% e 57% para o solo arenoso e argiloso, respectivamente, reduzindo para 32% no solo arenoso e 28% no solo argiloso para o segundo sistema de colheita e chegando a apenas 20% no solo arenoso e 15% no solo argiloso no terceiro sistema de colheita, ocorrendo uma redução de 28% e 42%, respectivamente para cada tipo de solo analisado, ficando assim evidente que o sistema de colheita onde ocorre apenas a retirada da madeira do sítio é o mais

indicado, sendo este o mais sustentável para o sítio e o que poderá garantir as melhores condições nutricionais para as próximas rotações. Para a produção de todos os componentes da biomassa os elementos P e Mg, são os macronutrientes mais eficientemente utilizados em ambos os tipos de solo analisados, e o coeficiente de utilização biológica para o componente madeira descreu na seguinte ordem:  $P > Mg > S > Ca > N > K$  para ambos os tipos de solo estudados.

**Palavras-chave:** Solos Florestais. Nutrição Florestal. Sustentabilidade. Ciclagem de Nutrientes.

## ABSTRACT

Master's Dissertation  
Post-Graduation Program in Forest Engineering  
Universidade Federal de Santa Maria

### QUANTIFICATION OF BIOMASS AND NUTRIENTS IN PLANTATIONS OF *Eucalyptus urograndis* IN SOILS DIFFERENT

AUTHOR: SIMONE MARTINI SALVADOR

ADVISER: Prof. Dr. nat. techn. MAURO VALDIR SCHUMACHER

Date and Place of Defense: Santa Maria, February 27<sup>th</sup>, 2015.

This study aimed to obtain information in order to contribute to the nutritional management of *Eucalyptus urograndis*, based on nutritional characterization, in two different soil types, for the region of Telêmaco Borba - PR. Delimited by 4 parcels located on each floor, making the measurement of all diameters and selection of trees to be felled. The trees were cut at soil level, and the fractionated components: leaves, branch, bark, stem wood, root and ferrule, by collecting a representative sample of each fraction as well as weighed to obtain biomass. To collect the litter were collected 10 samples in each parcels. All the vegetation contained within the floor area of each felled tree (7,5 m<sup>2</sup>), was regarded as understory which is collected throughout the biomass above and below ground. All biomass samples, understory and litter were sent to the Laboratório, where they were dried at 70<sup>o</sup>C, and after were sent for chemical analysis to determine the macro and micronutrients. The tree biomass total found in the present study was 257,99 Mg ha<sup>-1</sup> at a relative contribution of 1,01%; 2,69%; 5,23%; 74,38%; 16,69% F, G, C, M, R, respectively, to the ground soil A. To the soil B in total tree biomass was found 301,21 Mg ha<sup>-1</sup> with a compartment relative contribution 1,33% F; 3,80% G; 8,33% C; 74,28% M and 12,27 % of R. The total stock of macro and micronutrients was 1,64 Mg ha<sup>-1</sup> for the soil A, with most of the nutrients are found in greater amounts in the compartment wood, except the skin Ca and Fe in the root compartment. For the soil B, the total stock of nutrients was 2,39 Mg ha<sup>-1</sup> and most of the nutrients also presented as a higher incidence of compartment wood, except Ca and Mg that are in the bark and B and Fe that are in the compartment roots. The litter presented a biomass in sandy soil 17,35 Mg ha<sup>-1</sup>, and a total stock of nutrient 335,73 kg ha<sup>-1</sup>, while for the soil B, biomass was 20,93 kg ha<sup>-1</sup> and the total stock of nutrients was 456,76 kg ha<sup>-1</sup>, and the full magnitude of the amount of macronutrients in litter was N > Ca > Mg > K > S > P, in both soil types. The total biomass found in the understory was 1,08 Mg ha<sup>-1</sup> and the total stock of nutrients was 37,96 kg ha<sup>-1</sup> for soil A, however, to the soil B, the total biomass was 0,88 Mg ha<sup>-1</sup> and the total stock of nutrients was 36,94 kg ha<sup>-1</sup>, and in both types of soil, the greatest relative contribution of N was 50% for soil A and 53% for the soil B. Among the simulations, the first harvest system the total nutrient exported from the site would be 48% and 57% for sandy and clay soils, respectively, decreasing to 32% in sandy soil and 28% in clay soil to second harvest system and reaching only 20% in sandy soil and 15% in the third clay soil harvest system, causing a reduction of 28% and 42%, respectively examined for each type of soil, thus evident that the harvest system occurs only where the withdrawal of the site is the most suitable wood, which is more sustainable for the site and which could ensure the best nutritional conditions for the next rotation. For the production of all components of the biomass P and Mg elements, the macronutrients are most effectively used in both soil types

analyzed, and the coefficient of use for the organic component wood in the following order: P > Mg > S > Ca > N > K for both types of ground studied.

**Key-words:** Forest soils. Forest Nutrition. Sustainability. Cycling nutrients.

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Descrição dos procedimentos analíticos utilizados na determinação dos nutrientes, em amostras de tecido vegetal. ....  | 36 |
| Tabela 2 - Descrição dos procedimentos analíticos usados nas amostras de solo.....  | 37 |
| Tabela 3 - Atributos físicos do solo em diferentes solos com <i>Eucalyptus urograndis</i> . ....  | 39 |
| Tabela 4 - Atributos químicos do solo em diferentes solos com <i>Eucalyptus urograndis</i> . ....   | 40 |
| Tabela 5 - Estoque total de nutrientes disponíveis nos diferentes tipos de solo.....  | 41 |
| Tabela 6 - Índices dendrométricos de <i>Eucalyptus urograndis</i> em cada tipo de solo. ....  | 43 |
| Tabela 7 - Produção de biomassa ( $Mg\ ha^{-1}$ ) de folhas, galhos, casca, madeira e raízes para <i>Eucalyptus urograndis</i> aos 7 anos em diferentes tipos de solo, na região de Telêmaco Borba – PR. .... | 44 |
| Tabela 8 - Concentração de nutrientes nos componentes da biomassa arbórea em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo. ....                              | 49 |
| Tabela 9 - Quantidade de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa de <i>Eucalyptus urograndis</i> , aos 7 anos de idade na região de Telêmaco Borba – PR. ....                                       | 52 |
| Tabela 10 - Biomassa e teores de macro e micronutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo. ....                     | 54 |
| Tabela 11 - Quantidade de macro e micronutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo. ....                            | 56 |
| Tabela 12 - Biomassa e teores macro e micronutrientes no sub-bosque de um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> aos 7 anos de idade.....   | 58 |
| Tabela 13 - Quantidade de macro e micronutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo. ....                            | 60 |
| Tabela 14 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes para um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> com 7 anos de idade em diferentes tipos de solo. ....                                  | 66 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Localização da área de estudo no Estado do Paraná.....  | 29 |
| Figura 2 - Diagrama climático da região do estudo. Valores referentes à média mensal anual do plantio (2007) até o corte raso (2014). .....  | 30 |
| Figura 3 - Croqui das áreas experimentais em solo arenoso (Solo A) e solo argiloso (Solo B), em povoamentos de <i>Eucalyptus urograndis</i> .....  | 32 |
| Figura 4 - Frações da biomassa aérea determinada em cada tipo de solo analisado. ....  | 33 |
| Figura 5 - Posição dos discos coletados para amostragem de madeira e casca do tronco.....  | 33 |
| Figura 6 - Amostra da coleta do sistema radicular em dois diferentes tipos de solo. ....   | 34 |
| Figura 7 - Distribuição relativa da biomassa arbórea por compartimento, em diferentes tipos de solo com <i>Eucalyptus urograndis</i> aos 7 anos de idade. ....   | 45 |
| Figura 8 - Partição relativa (%) de macronutrientes nos compartimentos da biomassa em plantios de <i>Eucalyptus urograndis</i> , aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo. ....   | 53 |
| Figura 9 - Partição relativa (%) de micronutrientes nos compartimentos da biomassa em plantios de <i>Eucalyptus urograndis</i> , aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo. ....   | 53 |
| Figura 10 - Estoques de nutrientes disponíveis no solo e totais nos diferentes componentes da biomassa, sub-bosque e serapilheira em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> em solo arenoso, aos 7 anos de idade.....   | 61 |
| Figura 11 - Estoques de nutrientes disponíveis no solo e totais nos diferentes componentes da biomassa, sub-bosque e serapilheira em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> em solo argiloso, aos 7 anos de idade. .... | 62 |
| Figura 12 - Percentagens de exportação de nutrientes em diferentes cenários de colheita florestal em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> em solo arenoso, aos 7 anos de idade. ....                                  | 63 |
| Figura 13 - Percentagens de exportação de nutrientes em diferentes cenários de colheita florestal em um povoamento de <i>Eucalyptus urograndis</i> em solo argiloso, aos 7 anos de idade. ....                                 | 64 |

## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                 | <b>19</b> |
| 2.1 O Setor Florestal Brasileiro .....                               | 19        |
| 2.2 <i>Eucalyptus urograndis</i> .....                               | 21        |
| 2.3 Produção de Biomassa .....                                       | 22        |
| 2.4 Ciclagem de Nutrientes em ecossistemas florestais .....          | 24        |
| 2.5 Sustentabilidade das plantações florestais .....                 | 27        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                    | <b>29</b> |
| 3.1 Localização e caracterização da área de estudo .....             | 29        |
| 3.2 Histórico da área do estudo .....                                | 31        |
| 3.3 Amostragem e determinação da biomassa .....                      | 31        |
| 3.3.1 <i>Eucalipto</i> .....   | 31        |
| 3.3.2 <i>Serapilheira acumulada</i> .....                            | 34        |
| 3.3.3 <i>Sub-bosque</i> .....  | 35        |
| 3.4 Quantificação da biomassa .....                                  | 35        |
| 3.5 Quantificação do estoque de nutrientes na biomassa .....         | 36        |
| 3.6 Quantificação do estoque de nutrientes disponíveis no solo ..... | 37        |
| 3.7 Estimativa da remoção de nutrientes pela colheita .....          | 38        |
| 3.8 Coeficiente de Utilização Biológica .....                        | 38        |
| 3.9 Análise Estatística dos dados .....                              | 38        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                              | <b>39</b> |
| 4.1 Solos e Nutrientes .....   | 39        |
| 4.2 Características Dendrométricas .....                             | 42        |
| 4.3 Biomassa Arbórea .....   | 43        |
| 4.4 Quantificação do estoque de nutrientes na biomassa .....         | 48        |
| 4.4.1 Teores de nutrientes .....                                     | 48        |
| 4.4.2 Quantidades de nutrientes .....                                | 51        |
| 4.5 Biomassa da serapilheira acumulada e nutrientes .....            | 54        |
| 4.6 Biomassa do Sub-bosque e nutrientes .....                        | 58        |
| 4.7 Balanço de nutrientes no sistema solo - planta .....             | 60        |
| 4.8 Simulação de colheita com base em diferentes intensidades .....  | 63        |
| 4.9 Coeficiente de utilização biológica .....                        | 66        |
| <b>5. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>68</b> |
| <b>6. RECOMENDAÇÕES .....</b>  | <b>69</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                              | <b>70</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Em razão da crescente procura por produtos de origem florestal e das limitações das florestas nativas no suprimento desses recursos, buscaram-se novas formas de suprir essa demanda, com plantios de espécies exóticas de rápido crescimento e elevada produtividade. Com isso, a silvicultura passou a ter destaque no setor de produção, devido aos seus benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Porém, entender a sustentabilidade dos diversos sítios florestais ainda é um dos grandes desafios da atual silvicultura brasileira, pois a rápida taxa de crescimento das florestas plantadas, no Brasil, impõe elevada demanda sobre os recursos do solo, em especial água e nutrientes. BELLOTE et al. (2008), afirma que fatores como o solo, clima e manejo, afetam diretamente o desenvolvimento das plantações de ciclo curto, e quando alterados podem ocorrer variações acentuadas no seu crescimento e produtividade. Segundo ele, os nutrientes minerais interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento das árvores, sendo que a quantidade de nutrientes nas folhas, nos ramos e na casca do Eucalipto é bastante expressiva.

. Neste contexto a exploração florestal é a atividade mais agressiva em termos de prejuízos ao sítio, pois nem sempre os nutrientes minerais contidos na madeira colhida, são repostos nas mesmas quantidades retiradas do solo. As quantidades de nutrientes removidas do sítio dependem, principalmente, do componente da árvore a ser colhida, idade de corte do povoamento, das condições edáficas e da eficiência dos processos de ciclagem de nutrientes de cada uma das espécies.

Segundo Harrison et al. (2000), para avaliar o efeito da colheita florestal na disponibilidade de nutrientes no sítio, primeiramente, deve-se determinar a prioridade de alocação dos nutrientes nos diferentes componentes da árvore, podendo ser influenciado pela espécie, espaçamento, manejo, idade e intensidade de colheita, sendo, em seguida, avaliado o potencial de remoção em comparação com a produção de biomassa. Com isso, fica evidente que o estudo da biomassa e os nutrientes removidos com a colheita florestal, configura-se como um fator essencial em favor do uso sustentado desses ecossistemas, sendo assim a base para o entendimento da dinâmica nutricional em uma plantação florestal (VIERA, SCHUMACHER e BONACINA, 2011).

A serapilheira depositada no piso florestal, durante o curto ciclo da floresta é outro fator relevante a ser considerado na manutenção da produtividade do sítio. Na serapilheira

depositada na superfície do solo são acumuladas quantidades significativas de nutrientes, que após a sua decomposição, retornam ao solo e são absorvidos novamente pelas árvores (BELLOTE et al., 2008). O autor ressalta que a serapilheira depositada sobre o piso florestal, tem estreita correlação positiva com a biomassa produzida pelos povoamentos florestais.

No mesmo sentido, Costa (1990) salienta ainda a importância da heterogeneidade da comunidade vegetal que, no caso do sub-bosque de plantios florestais, pode corroborar para a manutenção dos nutrientes no sistema solo-planta. Em função das diferentes exigências nutricionais, quanto maior a heterogeneidade da comunidade vegetal, melhor será o equilíbrio dos nutrientes no ecossistema.

Apesar da competição por água e nutrientes, de modo geral, em longo prazo, a presença de sub-bosque atua positivamente na ciclagem de nutrientes, favorecendo a fixação de nitrogênio e enriquecendo a serapilheira, o que auxilia na sua decomposição e disponibilização de nutrientes, elevação dos teores de carbono no solo e do estoque de nutrientes para as próximas rotações (Witschoreck, 2008). O mesmo autor destaca, que o sub-bosque desempenha um aspecto conservacionista muito importante, onde, juntamente com as árvores de eucalipto, a vegetação de sub-bosque funciona como uma barreira física ao escoamento superficial, protegendo o solo contra a erosão, que se constitui no principal degradador da produção do ecossistema.

Diante disso, o estudo da quantificação da biomassa nas árvores, serapilheira acumulada e sub-bosque, juntamente com o estoque de nutrientes contidos em cada um destes compartimentos da floresta, são de fundamental importância, para que se conheça a dinâmica dos nutrientes nos diversos compartimentos do ecossistema, podendo-se assim, encontrar indicadores de possíveis impactos do manejo silvicultural. Como exemplo, podem-se citar os desbastes, que às vezes são realizados retirando toda a biomassa desbastada do interior do povoamento, seja a madeira para a indústria de celulose e papel, bem como os resíduos para a combustão em caldeiras, tendo assim, a exportação total de nutrientes do povoamento, prejudicando desta maneira, os processos de ciclagem nutricional (LONDERO et al., 2011).

Conhecer os aspectos do comportamento da biomassa acima e abaixo do solo em plantações com espécies arbóreas de rápido crescimento e principalmente o conhecimento da taxa de exportação de nutrientes, nos permite obter informações sobre características de diferentes ecossistemas, que direcionam as decisões para o planejamento do tipo de manejo utilizado em cada um destes ecossistemas, bem como adequar técnicas de conservação e de reposição de nutrientes ao ambiente utilizado (ANDRAE e KRAPEFENBAUER, 1983).

Portanto, este trabalho teve como objetivo principal, obter informações a fim de subsidiar o manejo sustentado para a espécie *Eucalyptus urograndis*, com base na caracterização nutricional em dois diferentes tipos de solo, para a região de Telêmaco Borba – PR, e os seguintes objetivos específicos:

- Quantificar a biomassa dos componentes folhas, galhos, casca do tronco, madeira do tronco e raiz;
- Quantificar a biomassa na serapilheira acumulada e no sub – bosque;
- Quantificar o estoque de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nos componentes das árvores, na serapilheira acumulada e no sub – bosque;
- Quantificar o estoque de nutrientes disponíveis no solo até 60 cm de profundidade em cada tipo de solo;
- Avaliar as implicações nutricionais causadas pelos diferentes sistemas de colheita da biomassa para cada tipo de solo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O Setor Florestal Brasileiro

As décadas de 1980 e 1990 notabilizaram-se, no Brasil, pela mudança do sistema de produção florestal, consolidando-se um sistema de produção menos agressivo ao ambiente com o preparo mínimo do solo e com maior acuidade no manejo de resíduos florestais. Esta evolução silvicultural permitiu obter-se um novo padrão de produção florestal, atenta às demandas da produção e à sua sustentabilidade (MOREIRA et al., 2009). Conforme Mendes (2014), três fases distintas foram fundamentais para a consolidação do setor florestal brasileiro:

A primeira, entre 1960 e 1980, foi responsável pela formação da base florestal, que foi resultante da política estratégica do governo federal, que definiu as indústrias de papel e celulose e do aço como forças motrizes da economia brasileira e os incentivos fiscais para plantios florestais como o principal instrumento para viabilizar essas forças.

A segunda fase ocorreu entre 1980 e 2000. As florestas plantadas ficaram maduras, houve investimentos significativos em tecnologia e gestão, e um processo intenso e crescente de industrialização, principalmente nas regiões sul e sudeste do país.

E a terceira fase, onde as empresas se tornaram competitivas, viabilizaram a sustentabilidade da produção. A industrialização se acelerou; novas fronteiras foram abertas, novos produtos e tecnologias foram desenvolvidos; e a silvicultura caminhou para uma economia de mercado, com investidores independentes, nacionais e internacionais porém, com dificuldades na gestão sustentável, econômica e socioambiental.

Contudo, na última década, o Brasil apresentou um crescimento significativo da sua base florestal, destacando-se os investimentos em projetos de expansão e inserção no mercado de novos *Players* na cadeia de celulose e papel, além da entrada de Fundos de Investimentos nacionais e estrangeiros como fornecedores de madeira, para suprir o crescimento da demanda dos diversos segmentos industriais (GUIMARÃES, 2014).

Conforme os dados da ABRAF 2013, o Brasil apresenta cerca de 5 102 030 ha (54,2%), de plantios com Eucalyptus no ano de 2012, totalizando 54,2% das florestas plantadas e representando um crescimento de 4,5% (228 078 ha) frente ao indicador de 2011,

sendo que o principal fator que alavancou esse crescimento foi o estabelecimento de novos plantios frente à demanda futura dos projetos industriais do segmento de papel e celulose. Apesar da desaceleração do setor após a crise econômica de 2008, a área plantada no país continua em crescimento. O estado do Paraná contribui com 197 835 ha plantadas, justificando-se em função da localização das principais unidades industriais dos segmentos de papel e celulose, painéis de madeira industrializada e madeira mecanicamente processada.

A exploração de áreas de florestas nativas, aliada à exploração das florestas plantadas, gera mais de 2 milhões de empregos, contribui com mais de US\$ 20 bilhões para o PIB, exporta mais de US\$ 4 bilhões, e contribui com 3 bilhões de dólares em impostos ao ano, arrecadados de aproximadamente 60.000 empresas. Segundo a SAE (2014), a cadeia produtiva florestal é ampla e envolve diversos segmentos importantes para o PIB do país, como celulose e papel, aço, mobiliário, construção civil e naval, embalagens, e os setores energéticos, farmacêutico, químico e alimentício, tornando a sua contribuição para a economia brasileira expressamente relevante.

Destaca-se ainda a biomassa florestal, a qual também é apresentada como um dos grandes potenciais do setor florestal brasileiro em âmbito internacional. Segundo dados da ANEEL (2014), atualmente no país estão registradas 53 usinas que utilizam biomassa florestal para a produção de energia, o que corresponde a 0,32% da capacidade instalada nacional (438 mil kw).

De acordo com Barros e Novais (2010), o expressivo aumento da produtividade florestal, em especial do eucalipto, que passou de, aproximadamente,  $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , no início da década de 70, para valores próximos de  $40 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{ano}$  (podendo em alguns casos alcançar até  $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ), e a competitividade dos produtos derivados de plantações no mercado mundial são dois indicadores de que a área de solos e nutrição florestal tem contribuição marcante para este alcance, pois, por meio do manejo do solo e da nutrição das plantações, disponibilizam-se os dois principais recursos demandados pelas árvores para seu crescimento: água e nutrientes.

Com isso fica evidente a necessidade de ampliarmos a área de florestas plantadas no país. Segundo projeções realizadas pela SAE/PR e pela UFMG (2013), a expectativa é que a área total de florestas plantadas no Brasil mais do que dobrará entre 2020-2030, dependendo do impacto de políticas públicas que favoreçam o incremento dos reflorestamentos.

## 2.2 *Eucalyptus urograndis*

Segundo Rech (2003), o gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e conta com cerca de 600 espécies e grande número de variedades e híbridos, com ocorrência natural na Austrália, Indonésia e ilhas próximas, tais como Flores, Alor e Wetar. Apresenta uma ampla plasticidade e dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em diferentes situações edafoclimáticas, extrapolando aquelas das regiões de origem (VITTI, 2002).

*Eucalyptus urograndis*, um híbrido de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, usada neste estudo, foi desenvolvida no Brasil. A primeira plantação estabeleceu-se no estado do Espírito Santo em 1979, mas foi na década de 1990 que houve um impulso nas áreas plantadas em escala comercial (LOPES, 2008). Atualmente, mais de 600.000 ha são cultivados com este híbrido, constituindo a base da silvicultura clonal brasileira (BRAGA, 2008).

Para Gouvêa et al. (1997), o híbrido tem como uma das vantagens da espécie *Eucalyptus urophylla*, uma ótima resistência a deficiência hídrica e elevada densidade básica da madeira, que aliado ao *Eucalyptus grandis* que apresenta um bom desenvolvimento silvicultural, fazem com que as plantas desta espécies possuam um alto potencial para programas de hibridação, podendo assim, obter um material mais homogêneo, com qualidades da madeira mais desejáveis para um ótimo rendimento e propriedades físicas da celulose favoráveis.

O *Eucalyptus urograndis* tem uma excelente adaptação em diversas regiões do país, porém não é muito tolerante a geadas severas, o que delimita um pouco o seu uso em plantios na região sul do país (MONTANARI et al., 2007). O autor salienta ainda, que o *Eucalyptus urograndis* apresenta bons índices de produtividade, e o ritmo de crescimento e rendimento volumétrico são, geralmente, superiores, quando comparados a outras espécies convencionais (crescimento em diâmetro 20% superior a outras espécies), pode ainda chegar até 15% a mais do que a altura convencional, além de melhores características da madeira para diversos fins industriais.

As espécies introduzidas no Brasil para fins de reflorestamento permitem um ciclo de corte relativamente curto e uma alta produtividade, quando comparadas com espécies florestais nativas. Apresentam, portanto, uma grande importância do ponto de vista econômico e silvicultural, uma vez que são utilizadas para produção de papel, celulose e fins energéticos, além de, contribuir como matéria-prima na confecção de chapas de fibras e

aglomerados (SILVA, POGGIANI e COELHO, 1983). Além da madeira, em muitos casos passou-se a utilizar também os resíduos da exploração, constituídos pelas folhas, ramos e casca das árvores para a produção energética nas empresas.

Ademais, um dos principais benefícios do cultivo do eucalipto, um bem natural renovável, é oferecer alternativas para o suprimento de madeira, diminuindo dessa forma, a pressão sobre as florestas nativas, pois mesmo que estas pudessem ser utilizadas de forma sustentável, não seriam suficientes para atender à crescente demanda de madeira, devido às dificuldades técnicas de manejo para que se obtenha a produtividade compatível com as necessidades das empresas (VIERA, 2010).

### **2.3 Produção de Biomassa**

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

A produção de biomassa de eucalipto varia entre diferentes ambientes, e as características físicas e químicas dos solos desempenham um importante papel na determinação de diferenças em produtividade (BARROS e NOVAIS, 2010). Sendo que, a disponibilidade de nutrientes é um dos principais fatores para o crescimento das plantas, embora nem sempre se consiga boa equivalência entre teores no solo e a quantidade absorvida pela planta. Com a informação sobre biomassa e sua concentração de elementos minerais, pode se calcular o reservatório de nutrientes minerais da floresta (GOLLEY, 1975). Conforme, Freitas (2000) a distribuição de nutrientes na biomassa florestal, varia ao longo do tempo, sendo que com a dinâmica do ecossistema na fase juvenil, o processo é mais acelerado, estabilizando-se quando a floresta atinge a maturidade.

Para Curlin (1970), a distribuição da biomassa nos diferentes componentes da planta, geralmente segue a seguinte ordem: lenho > galhos > casca > folhas, sendo que dentro de um mesmo compartimento podem existir variações significativas de concentração. Segundo Saidelles, König e Schumacher (2001), em um ecossistema florestal existe uma grande dinâmica na produção de biomassa, ou seja, à medida que a floresta vai se desenvolvendo

ocorre uma gradual redução da biomassa da copa das árvores e simultaneamente verifica-se um aumento na proporção dos componentes madeira e casca.

Ladeira et al., (2001) e Leite et al., (1997), salientam que à medida que aumenta a densidade populacional, a biomassa total por unidade de área aumenta (limitada pela capacidade máxima de produção do sítio e com tendência decrescente com a idade do povoamento), ao passo que a produção de biomassa total por indivíduo diminui, mas, com elevação da alocação de fotoassimilados no tronco. Salvador (2012), ao estudar o estoque de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus saligna*, em diferentes idades na região dos Campos Gerais no estado do Paraná, encontrou valores de biomassa em ordem decrescente para folhas e galhos, porém para a casca e madeira encontrou valores crescentes, quando comparados com o aumento da idade do povoamento.

Para Schumacher (1992), este comportamento em que as folhas tendem a diminuir com o avanço da idade, durante o desenvolvimento inicial de uma floresta, é devido o fato de que boa parte dos carboidratos é canalizada para a produção de biomassa da copa, porém com o passar do tempo, quando as copas começam a competir entre si por espaço, a produção relativa do tronco aumenta, diminuindo gradativamente a produção de folhas e ramos. Para Reis e Barros (1990), isto se deve à alocação da produção de carbono estar voltada para a produção de lenho.

A acumulação de biomassa é afetada por fatores ambientais e fatores da própria planta (BARICHELO; SHUMACHER; VOGEL, 2005). Para Kramer e Kozlowski (1972), a acumulação da biomassa é influenciada por todos aqueles fatores que afetam a fotossíntese e a respiração. Segundo eles, os principais fatores são luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> do ar, umidade e fertilidade do solo e doenças, além dos fatores internos como: idade, estrutura e disposição das folhas, distribuição e comportamento dos estômatos, teor de clorofila, e acumulação de hidratos de carbono.

Com isso, entende-se que a biomassa e o crescimento das árvores dependem, entre outros fatores, da qualidade do sítio, textura e disponibilidade de nutrientes no solo, das características climáticas e da altitude na qual está localizado o povoamento (KADEBA, 1994) e da procedência (CALDEIRA et al., 2001). Segundo Schumacher e Caldeira (2004), deve-se avaliar as condições naturais do sítio onde as espécies serão implantadas para que ocorra uma produtividade e perpetuidade do ecossistema, afim de que estes possam ser utilizados pelas gerações futuras, sendo assim é necessário que a manutenção dos nutrientes no solo, bem como da produtividade da biomassa seja monitorada, pois o manejo eficiente de

uma plantação também está ligado à ciclagem de nutrientes, para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo com o que é assimilado novamente pelas raízes.

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

Para Santana et al. (1999), com a colheita florestal ocorre uma grande exportação de nutrientes ao longo de rotações, o que pode levar a redução da capacidade produtiva do sítio, principalmente em solos com baixos teores de nutrientes em formas disponíveis e totais. As explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis pelo exaurimento do solo (VIERA, 2010). Sendo assim, há necessidade de entendimento do potencial produtivo dos vários sítios, em particular as características nutricionais e seu efeito na sustentabilidade da produção florestal.

No mesmo sentido, Schumacher et al. (2003), corroboram que dentro de um ecossistema florestal, a manutenção da capacidade produtiva do sítio, só será mantida em longo prazo, quando as perdas de nutrientes, pela erosão, colheita e utilização da biomassa, forem repostas de forma eficiente. No entanto, é fundamental estabelecer quanto de biomassa é produzida e a quantidade de nutrientes que é exportada pelas espécies florestais.

Sendo assim, a partir da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos, através da produção de serapilheira, sua decomposição, lixiviação e outros será possível entender a ciclagem dos nutrientes e a manutenção da capacidade produtiva de uma floresta (POGGIANI e SCHUMACHER, 2000).

## **2.4 Ciclagem de Nutrientes em ecossistemas florestais**

Os fundamentos da ciclagem de nutrientes têm sido a base de muitos estudos na área florestal, entre eles, os que avaliam a sustentabilidade da produtividade primária (WITSCHORECK, 2008). Segundo Viera (2012), o manejo eficiente de uma plantação com espécies arbóreas, e sua produtividade, bem como, a manutenção do estoque de nutrientes minerais no solo, estão ligados diretamente à ciclagem de nutrientes, sendo fundamental obter

informações necessárias para que ocorra um fluxo contínuo entre o que é depositado sobre o solo, com a queda de resíduos, e o que é assimilado novamente pelas raízes. De acordo com Switzer e Nelson (1972), o processo de ciclagem de nutrientes nos ecossistemas florestais pode ser caracterizado em três tipos:

I. **Ciclo geoquímico** refere-se à troca (entrada e saída) de elementos minerais entre os diversos ecossistemas. Conforme Poggiani e Schumacher (2000), neste ciclo as maiores perdas de nutrientes são ocasionadas pelos processos de erosão e lixiviação pela água de drenagem, fogo, processos de desnitrificação e, principalmente pela colheita florestal.

II. **Ciclo biogeoquímico** é aquele que se estabelece nas relações entre o solo e a planta. Este ciclo ocorre mediante o processo em que a planta, pelo seu sistema radicular retira os elementos minerais do solo para a produção da biomassa (folhas, ramos, casca, madeira e raízes) e posteriormente devolve parte destes elementos por meio da queda de resíduos (serapilheira), os quais, à medida que vão sendo mineralizados, novamente são absorvidos pelas raízes (SCHUMACHER e HOPPE, 1997).

III. **Ciclo bioquímico** relaciona-se com as transferências internas dos elementos minerais dos tecidos mais velhos para os mais jovens. Uma vez absorvidos os nutrientes do solo, alguns destes elementos ficam em constante mobilização no interior da planta.

Viera (2012), salienta ainda que em um ecossistema florestal, o ciclo de nutrientes pode ser entendido como uma movimentação e uma transferência de nutrientes entre seus compartimentos, sendo estes continuamente transferidos entre compartimentos bióticos e abióticos.

As entradas de nutrientes podem ocorrer através das deposições atmosféricas, secas e úmidas, intemperismo geológico, fixação biológica de nitrogênio e fertilização, enquanto as saídas incluem a volatilização pelas queimadas ou pela desnitrificação, lixiviação e erosão hídrica, assim como, pela colheita da biomassa (PRITCHETT, 1990). Uma das principais vias de exportação de nutrientes, se não a mais importante, principalmente em povoamentos florestais, é a colheita da biomassa (PRINCHETT, 1990; LANDSBERG, 1986).

A ciclagem de nutrientes em florestas pode ser analisada por meio da compartimentalização da biomassa acumulada nos diferentes estratos e a quantificação das taxas de nutrientes que se movimentam entre seus compartimentos, pela produção de serapilheira, sua decomposição, lixiviação e outros. Podem ser considerados, por exemplo, como compartimentos da floresta: a biomassa aérea das árvores, a serapilheira, a biomassa das raízes, o solo, etc. (SCHUMACHER et al., 2003). De acordo com Landsberg (1986), as reservas de nutrientes nas florestas estão presentes nos vários componentes das árvores, no

solo e na vegetação de sub-bosque, sendo que, do montante, somente uma pequena fração está em fluxo entre os vários compartimentos do sistema.

A concentração e o conteúdo de nutrientes variam em função do tipo de solo, da vegetação, da densidade populacional, da habilidade da espécie em absorver, utilizar e translocar os nutrientes antes da senescência foliar, da proporção de folhas em relação aos demais componentes, do habitat natural (condições edafoclimáticas) e da idade das árvores (PRITCHETT, 1979; KOEHLER et al., 1987; SCHUMACHER, 1992; NEVES et al., 2001; VIERA e SCHUMACHER, 2009). Pallardy (2008), afirma ainda que a quantidade de nutrientes nas plantas varia bastante em função da espécie e genótipo, idade da planta, sítio, época do ano e da parte da planta analisada.

Segundo Viera (2012), cada componente possui concentração de nutrientes relacionada com suas funções, havendo gradiente que geralmente obedece a sequência de concentração: folhas > casca > galhos > tronco, sendo que, dentro do mesmo compartimento podem existir variações significativas de concentração. Além disso, o estoque de nutrientes na biomassa florestal tende a apresentar um comportamento assintótico em idades avançadas, alcançando um estado de equilíbrio, onde o incremento através do crescimento das árvores é contrabalançado com a morte de indivíduos (WARING e SCHLESINGER, 1985) e pela ciclagem de nutrientes.

De acordo com Gonçalves et al., (2000), a compreensão do ciclo dos nutrientes (velocidade de fluxo, entradas e saídas, interação solo-planta, distribuição nos componentes da parte aérea e do sistema radicular ao longo do tempo) é fundamental para a definição de tecnologias de manejo florestal, particularmente na definição de dose, método e época de aplicação de fertilizantes.

A quantificação dos nutrientes em plantações e o conhecimento da relação entre exportação e conteúdo de nutrientes disponíveis no solo são importantes na definição de estratégias com vista à manutenção da sustentabilidade do ecossistema (SANTANA et al., 1999). Para Vogel, Schumacher e Truby (2007), o estudo da ciclagem de nutrientes desempenha um papel importante no conhecimento das condições e dinâmica dos processos internos dos ecossistemas naturais, que auxiliam no entendimento das rápidas mudanças provocadas pela exploração florestal no meio ambiente.

## 2.5 Sustentabilidade das plantações florestais

Conforme Poggiani et al. (1998), os ecossistemas naturais permanentes são sustentáveis (auto-suficientes), pois eles mantêm a produtividade de acordo com a capacidade de suporte do meio, a diversidade genética, as características físico-químicas do solo, a dinâmica dos nutrientes, o ciclo da água etc.

Já as plantações arbóreas, constituem-se em uma forma apropriada do uso do solo, sendo menos impactantes do que qualquer outra cultura intensiva; entretanto, precisam estar em harmonia com as prioridades ecológicas e sociais da região onde estão inseridas (POGGIANI et al., 1998), de modo que possam interagir ecologicamente com o meio ambiente local, sem prejudicar o desenvolvimento da fauna e flora natural, bem como, os ciclos ecológicos.

A sustentabilidade do sítio florestal é função do entendimento de como funciona o ecossistema florestal, a produção orgânica, a distribuição da mesma pelos diferentes componentes da árvore e os fatores limitantes dessa produção (KIMMINS, 1994). Schlich (1925) define o conceito de sustentabilidade como assegurar ou aumentar a produtividade da floresta, seguindo o princípio básico: a colheita não pode exceder a capacidade produtiva do sítio, considerando-se a floresta como uma unidade individual de manejo.

Baseado neste conceito, entende-se que, deve-se manter um equilíbrio dinâmico entre as entradas e as saídas dos nutrientes do sítio (STAPE, 1997), evitando-se assim que a capacidade produtiva de uma floresta não seja exaurida, principalmente com árvores de rápido crescimento, onde a extração de nutrientes e da água do solo apresentam valores significativos.

Conforme Poggiani et al. (1998), a sustentabilidade de uma floresta manejada ou de uma plantação está fundamentada nas seguintes premissas básicas: manutenção e até aumento da produção de madeira, perpetuidade do equilíbrio dinâmico entre a entrada e saída de energia e nutrientes, e a conservação da capacidade de regeneração do ecossistema.

Alguns parâmetros, como crescimento das árvores em altura, diâmetro e acúmulo de biomassa, evolução da área basal, macro e micronutrientes nas folhas, matéria orgânica e fertilidade do solo, produção de serapilheira e sua velocidade de decomposição, entre outros, são avaliados na determinação da sustentabilidade de uma plantação (POGGIANI et al., 1998), que pode ser acentuada por práticas silviculturais, pelo preparo do solo, pelo plantio de mudas geneticamente melhoradas e pela manipulação dos recursos (MOREIRA, 2009).

Neste sentido, torna-se necessário o monitoramento das plantações, o qual fornece informações quanto ao passado e presente, indica a necessidade de se alterar a forma de manejo futuro e assegura que qualquer efeito danoso sobre o ecossistema poderá ser modificado antes que ocorra uma degradação irreversível (POGGIANI et al., 1998).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em um povoamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* da empresa Klabin Papel e Celulose S.A., no município de Telêmaco Borba, região dos Campos Gerais, do Estado do Paraná, a 245 km de distância da capital Curitiba, localizado na latitude 24<sup>o</sup> 19' 26'' sul, longitude 50<sup>o</sup> 36' 57'' oeste e a uma altitude média de 700 m (Figura 1).



Figura 1 - Localização da área de estudo no Estado do Paraná.  
Fonte: Arquivo Klabin S.A (2012)

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfb (Clima subtropical úmido), com chuvas bem distribuídas durante o ano, verões amenos, sem estação de seca e geadas pouco frequentes no inverno. As temperaturas médias anuais oscilam, em torno de 17<sup>o</sup>C e a pluviosidade alcança cerca de 1.600 mm anuais, com média do mês mais quente inferior a 23<sup>o</sup>C e do mês mais frio inferior a 15<sup>o</sup>C, como pode ser verificado a Figura 2.

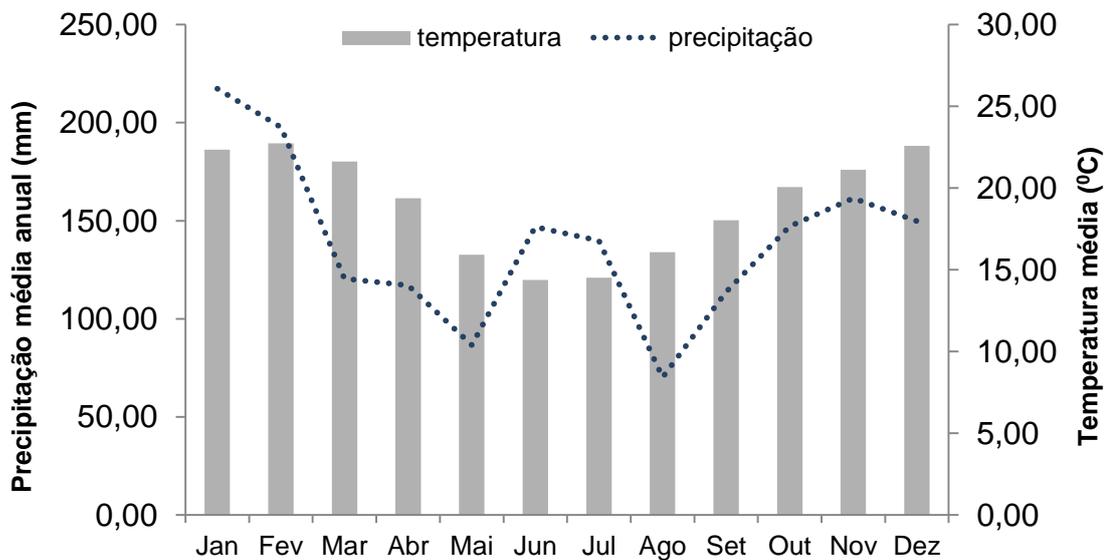


Figura 2 - Diagrama climático da região do estudo. Valores referentes à média mensal anual do plantio (2007) até o corte raso (2014).

Fonte: SIMEPAR, 2014.

Os solos encontrados na área de estudo são: Cambissolo Háptico Tb Distrófico latossólico, que são solos de fertilidade natural variável, com a presença de um horizonte A moderado de argila de baixa atividade, textura média leve (franco arenosa), e relevo plano, suave ondulado a forte ondulado com a ocorrência de pedras na massa do solo (solo A); e o Latossolo Vermelho Distroférico típico ou cambissólico, tendo como características mais marcantes, um horizonte A moderado com textura argilosa e muito argilosa, e relevo plano, suave ondulado a ondulado (solo B).

### 3.2 Histórico da área do estudo

O presente estudo, localizado na Fazenda Monte Alegre, foi implantado em setembro de 2006 (solo A) e novembro de 2007 (solo B), onde primeiramente realizaram-se as etapas de planejamento e licenciamento ambiental, as operações de marcação de estradas e áreas de preservação permanente (APPs). O plantio foi realizado manualmente, com espaçamento de 3,0 m x 2,5 m e densidade inicial de 1333 plantas ha<sup>-1</sup>, as mudas clonais usadas para o plantio foram produzidas manualmente em tubetes a partir de microestatas, no Viveiro Comercial da Klabin, localizado na cidade de Telêmaco Borba – PR, e levadas a campo com 90 dias.

Para o plantio, realizou-se uma subsolagem do solo na linha de plantio, com profundidade de 45 cm, onde foi incorporada uma dosagem de 200 kg ha<sup>-1</sup> de fosfato natural de rocha (Arad), aplicados na linha de subsolagem. Após o plantio foram realizadas outras duas adubações, sendo a primeira, uma adubação de base de 15 kg ha<sup>-1</sup> de N, 35 kg ha<sup>-1</sup> de P, 15 kg ha<sup>-1</sup> de K, e a segunda foi uma adubação de cobertura, onde utilizou-se 40 kg ha<sup>-1</sup> de N, 5 kg ha<sup>-1</sup> de P, 65 kg ha<sup>-1</sup> de K e 1,5 kg ha<sup>-1</sup> de B.

Foram realizados dois controles de formigas, o primeiro sistemático, onde foram distribuídos 2 kg ha<sup>-1</sup> de sulfuramida. O segundo controle, foi realizado de forma localizada (aplicado onde foram encontradas as mudas cortadas), com aplicação em média de 2,2 kg ha<sup>-1</sup> de sulfuramida até 12 meses de idade. O controle de mato-competição foi feito na linha de plantio, conforme a necessidade com glifosato até 18 meses após o plantio (após este período ocorre o fechamento da copa das árvores). Não foi realizada nenhuma intervenção de desrama ou desbaste, pois o manejo era para produção de celulose com rotação de 7 anos. A coleta de dados foi realizada no mês de novembro de 2013 para o solo A e no mês de junho de 2014 para o solo B, ambos quando o povoamento tinha 7 anos de idade.

### 3.3 Amostragem e determinação da biomassa

#### 3.3.1 *Eucalipto*

Primeiramente foram escolhidas áreas dentro da Fazenda (Fazenda Monte Alegre), em dois tipos de solo: O primeiro em solo com textura arenosa (Solo A), e o segundo em solo

com textura argilosa (Solo B). Em cada tipo de solo foram demarcadas 4 parcelas amostrais, com 2550 m<sup>2</sup> (Figura 3), compostas por 17 linhas por 20 plantas com espaçamento entre plantas de 3 m x 2,5 m, onde se realizou a medição de todos os diâmetros a altura do peito das árvores em cada parcela, com base nestes diâmetros, selecionou-se a árvore de diâmetro médio menos um desvio padrão, diâmetro médio e diâmetro médio mais um desvio padrão de cada parcela, totalizando 12 árvores amostrais em cada solo.

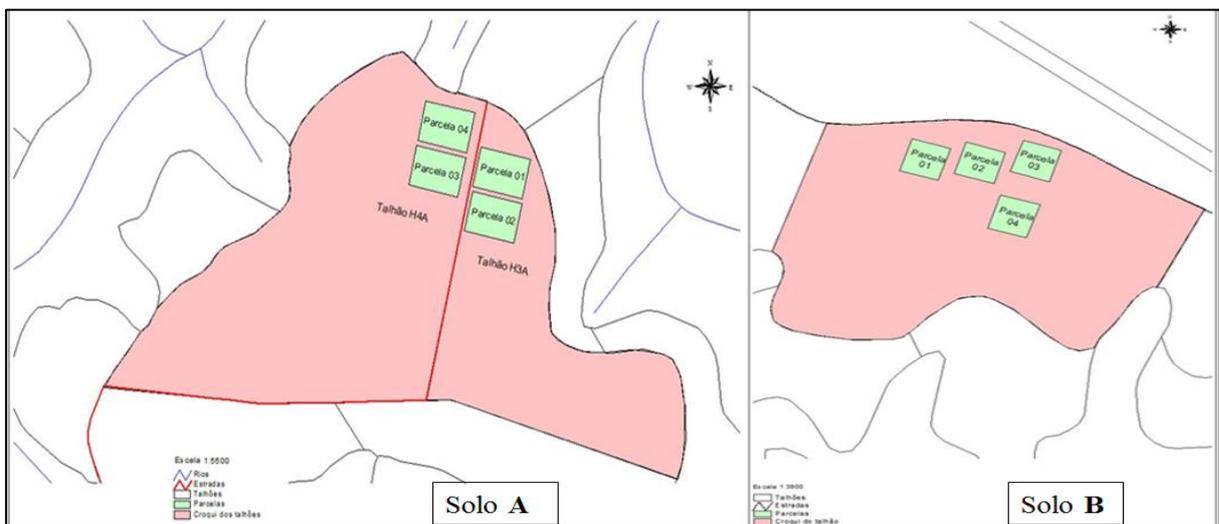


Figura 3 - Croqui das áreas experimentais em solo arenoso (Solo A) e solo argiloso (Solo B), em povoamentos de *Eucalyptus urograndis*.

As árvores selecionadas foram seccionadas ao nível do solo e fracionadas nos seguintes componentes: folhas, galhos, casca do tronco, madeira do tronco e raízes conforme mostra a Figura 4. A quantidade de biomassa, destes componentes foi determinada no campo, por meio da pesagem com uma balança de gancho no campo.



Figura 4 - Frações da biomassa aérea determinada em cada tipo de solo analisado.  
Fonte: Arquivo do autor

Coletou-se então uma amostra representativa de cada componente das árvores-amostras, com exceção da casca e da madeira do tronco, as quais foram coletas de discos de madeira de 4 cm de espessura (casca e madeira) nas seguintes posições conforme a altura comercial: base, 25%, 50%, 75%, 100% (Figura 5) e ponteira, sendo considerada a fração de 100% na altura comercial da árvore (diâmetro mínimo de 8 cm) e a ponteira como sendo a madeira mais casca do diâmetro mínimo até o ápice da árvore, todo o tronco foi pesado no campo.

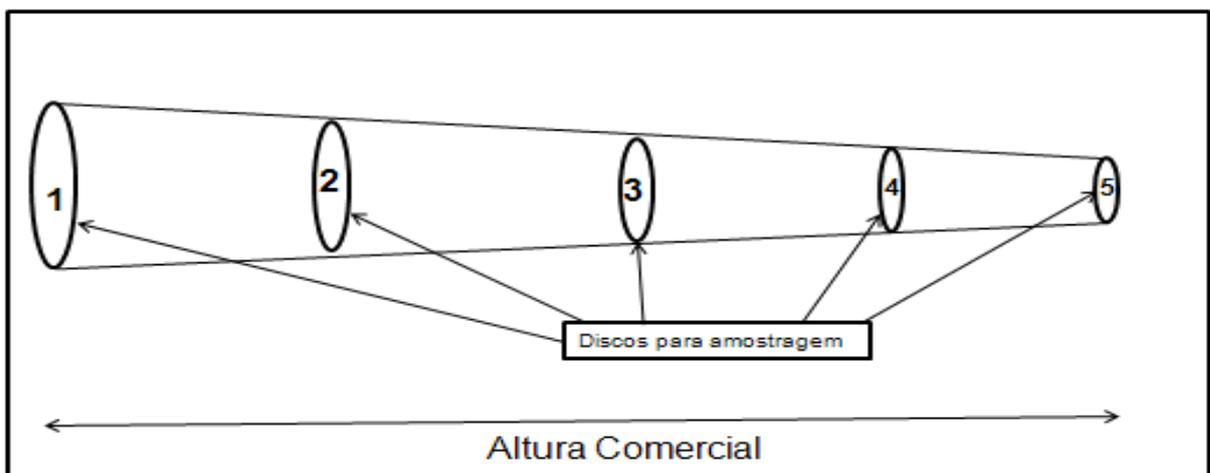


Figura 5 - Posição dos discos coletados para amostragem de madeira e casca do tronco.

Após pesadas, às amostras foram encaminhadas para o Laboratório da empresa Klabin, junto ao Departamento de Pesquisas Florestais, onde foram acondicionadas em sacos de papel e encaminhadas para análise. A determinação da biomassa seca das árvores foi realizada indiretamente através do teor de umidade das amostras de cada componente. No caso da casca e da madeira do tronco, foi utilizado o teor de umidade no disco inteiro de madeira, coletado em cada um dos segmentos da altura comercial e da ponteira.

Para a biomassa das raízes, foram selecionadas as 4 árvores de DAP médio, dentre todas as abatidas para a biomassa acima do solo, em cada sítio amostral. O sistema radicular (toco e raízes) foi extraído por retroescavadeira e escavação manual (pás e enxadas), na área útil (conforme espaçamento dos plantios) das árvores selecionadas, até a profundidade de 1 m. O solo foi espalhado sobre lona plástica, da qual foram retiradas manualmente e separadas por 3 classes, sendo estas: raízes finas (até 2 mm), raízes médias (de 2,1 até 10 mm) e raízes grossas (maior que 10 mm), estas foram pesadas na sua totalidade e extraída uma amostra de cada fração, a qual foi enviada para análise química, como mostra a Figura 6.



Figura 6 - Amostra da coleta do sistema radicular em dois diferentes tipos de solo.

Fonte: Arquivo do autor.

### 3.3.2 Serapilheira acumulada

Para avaliar a serapilheira acumulada sobre o solo, foram coletadas amostras com uma moldura de 30 cm x 30 cm, distribuídas aleatoriamente dentro das parcelas, como forma de

obter-se uma amostra bem representativa de toda a área da parcela. Foram coletadas 10 amostras em cada parcela, totalizando 40 amostras de serapilheira acumulada sobre o solo em cada tipo de solo. Seu peso seco foi determinado diretamente através da secagem e pesagem de cada amostra.

### 3.3.3 *Sub-bosque*

Considerou-se como sub-bosque toda vegetação, de ocorrência espontânea, seja nativa ou exótica, contida dentro da área útil de cada árvore abatida (7,5 m<sup>2</sup>). Coletou-se então, toda a biomassa acima e abaixo do solo, que posteriormente foi pesada, homogeneizada e retirou-se uma amostra, que foi enviada para o Laboratório para análise química. No total foram coletadas 12 amostras de sub-bosque em cada tipo de solo.

Todas as amostras de biomassa, sub – bosque e serapilheira, foram encaminhadas para o Laboratório de Ecologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), onde foram secas a 70<sup>0</sup>C, em estufa de circulação e renovação de ar, até a estabilização do peso e pesadas novamente para determinação do teor de umidade.

## 3.4 **Quantificação da biomassa**

A quantificação da biomassa de *Eucalyptus urograndis* por hectare foi determinada através da extrapolação pelo número de árvores em um hectare, com base na biomassa seca de cada componente por unidade amostral. Da mesma forma, o sub-bosque e a serapilheira foram estimados em função da área e da biomassa média das unidades amostrais e extrapolados pela área de um hectare.

### 3.5 Quantificação do estoque de nutrientes na biomassa

Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho de lâminas do tipo Wiley com peneira de 20 mesh, e encaminhadas para as determinações analíticas dos macronutrientes: N, P, K, Ca, Mg e S, e dos micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn e Zn, junto ao Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, segundo a metodologia sugerida por Tedesco et al. (1995) e Miyazawa et al. (1999), de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos procedimentos analíticos utilizados na determinação dos nutrientes, em amostras de tecido vegetal.

| Nutrientes | Digestão   | Método                                    | Comprimento de onda (nm) |
|------------|--|---|--------------------------|
| N          | Sulfúrica (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )                            | kjeldahl                                  | —                        |
| Ca         | Nítrica-perclórica<br>(HNO <sub>3</sub> + HClO <sub>4</sub> )<br>[3:1] | Espectrofotometria de<br>absorção atômica | 422,67                   |
| Mg         |  |   | 285,21                   |
| Cu         |  |   | 324,75                   |
| Fe         |  |   | 248,33                   |
| Mn         |  |   | 279,48                   |
| Zn         |  |   | 213,86                   |
| K          |  | Fotometria de chama                       | —                        |
| P          |  | Espectrofotometria                        | 660,00                   |
| S          | Turbidimetria  | 440,00                                    |                          |
| B          | Seca   | Espectrofotometria                        | 460,00                   |

Fonte: Adaptado de Witschoreck (2008).

A quantidade de nutriente em cada um dos componentes das árvores (folhas, galhos, casca, madeira e raiz), na serapilheira acumulada e no sub - bosque foi obtida através do produto entre a biomassa e as concentrações de nutrientes em cada um dos referidos componentes. No caso do tronco (casca e madeira) para obter o conteúdo de nutrientes foi utilizada a biomassa seca de cada um dos segmentos pelas concentrações dos nutrientes nos discos de madeira e sua respectiva casca de cada secção.

### 3.6 Quantificação do estoque de nutrientes disponíveis no solo

Para quantificar o estoque de nutrientes no solo, foram coletadas amostra de solo em vários pontos dentro de cada parcela em cada tipo de solo, nas profundidades de 0 – 20 cm, 20 – 40 cm e 40 – 60 cm. Após, estas amostras foram encaminhadas para análise química no Laboratório de Ecologia Florestal da UFSM, onde determinou-se os teores de N, P, K, Ca, Mg e S, segundo descrição na Tabela 2, seguindo a metodologia de Tedesco et al. (1995), preconizada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS / SC (2004).

Tabela 2 - Descrição dos procedimentos analíticos usados nas amostras de solo.

| Parâmetros   | Extração   | Método                                 | Comprimento de onda (nm) |
|--------------|--|--|--------------------------|
| N total      | Combustão seca                                     |  | —                        |
| P Disponível | Mehlich -1 (HCl + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) | Espectrofotometria de absorção atômica | 660,0                    |
| K Trocável   |  | Fotometria de chama                    | —                        |
| Ca Trocável  | KCl (1 mol <sup>-1</sup> )                         | Espectrofotometria de absorção atômica | 422,7                    |
| Mg trocável  |  |  | 285,2                    |
| S Disponível | Ca (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>  | Turbidimetria                          | 440,0                    |

Fonte: Adaptado de Witschoreck (2008).

A quantificação do estoque de nutrientes no solo, em todas as camadas amostradas, foi realizada através do produto entre a massa do solo e a concentração média de nutrientes em cada camada, sendo que a densidade considerada para ambos os tipos de solo foi de 1 g cm<sup>-3</sup>.

No caso do nitrogênio, como a maioria do N total está contida em formas pouco ou não disponíveis (frações húmicas muito estáveis), para efeito de cálculo, foi considerado apenas 10% como disponível para as plantas (GONÇALVES; MENDES; SASAKI, 2001; SERRA, 2006).

### 3.7 Estimativa da remoção de nutrientes pela colheita

A estimativa da remoção dos nutrientes foi calculada considerando os estoques acumulados na biomassa (item 3.5), com 7 anos de idade, e as saídas sob três cenários de colheita: madeira comercial com casca + ponteira, madeira comercial com casca – ponteira, madeira comercial sem casca – ponteira.

### 3.8 Coeficiente de Utilização Biológica

O coeficiente de utilização biológica foi obtido pela relação entre a quantidade de biomassa de cada componente e os nutrientes nesta distribuídos, ambos com a mesma unidade conforme a equação:

$$\text{CUB} = \frac{\text{Quantidade de biomassa}}{\text{Quantidade de nutriente por componente}}$$

### 3.9 Análise Estatística dos dados

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SAS, ao nível de 5% de probabilidade de erro. A separação dos contrastes de médias utilizou-se o teste de Tukey, considerando-se um delineamento inteiramente casualizado, onde cada árvore analisada corresponde a uma repetição para cada componente da biomassa em cada tipo de solo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Solos e Nutrientes

A textura do solo representa a distribuição quantitativa das partículas do solo, quanto ao tamanho (areia, silte e argila). Segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004), o solo do tipo A apresentou textura franco arenosa (são solos mais leves para preparo, com menor capacidade de retenção de água; bem drenados e elevada suscetibilidade à erosão), e o solo do tipo B textura argilosa (são solos mais pesados para o preparo e tem elevada retenção de água e menor suscetibilidade à erosão), conforme os dados apresentados na Tabela 3. Essa diferenciação, das partículas do solo possibilita conhecer o potencial de uso e manejo do solo na área, como por exemplo, a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, o risco de erosão, potencial de mecanização, entre outros, além de influenciar na dinâmica das frações da MO.

Tabela 3 - Atributos físicos do solo em diferentes solos com *Eucalyptus urograndis*.

| Solo                    | Prof<br>(cm) | Distribuição do tamanho de partículas (%) |            |       |        |
|-------------------------|--------------|---|------------|-------|--------|
|                         |              | Areia Grossa                              | Areia Fina | Silte | Argila |
| <b>Arenoso<br/>(A)</b>  | 0-20         | 39,89                                     | 40,36      | 4,19  | 15,56  |
|                         | 20-40        | 40,33                                     | 40,5       | 2,11  | 17,06  |
|                         | 40-60        | 40,72                                     | 37,05      | 3,67  | 18,56  |
| <b>Argiloso<br/>(B)</b> | 0-20         | 14,68                                     | 6,87       | 28,23 | 50,22  |
|                         | 20-40        | 16,51                                     | 5,79       | 31,48 | 46,22  |
|                         | 40-60        | 16,18                                     | 6,73       | 26,87 | 50,22  |

O tipo de material de origem e o grau de intemperização do solo determinam os tipos de argila e as suas quantidades, sendo estas partículas as principais responsáveis pela atividade química dos solos (LOPES e GUILHERME, 2004). Na Tabela 4 podemos observar o teor de nutrientes encontrados no solo A e B, respectivamente analisados, até a profundidade de 60 cm, em plantios de *Eucalyptus urograndis*.

Tabela 4 - Atributos químicos do solo em diferentes solos com *Eucalyptus urograndis*.

| Solo | Prof<br>Cm | MO<br>% | pH<br>(H <sub>2</sub> O) | -----               |       |       |      | ----- |      |      | -----                              |      |      |                      |
|------|------------|---------|--------------------------|---------------------|-------|-------|------|-------|------|------|------------------------------------|------|------|----------------------|
|      |            |         |                          | P                   | K     | S     | B    | Cu    | Zn   | V    | m                                  | Ca   | Mg   | CTC <sub>efet.</sub> |
|      |            |         |                          | mg dm <sup>-3</sup> |       |       |      | %     |      |      | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |      |      |                      |
| A    | 0-20       | 1,79    | 3,97                     | 1,61                | 30,92 | 9,08  | 0,55 | 1,25  | 0,54 | 2,54 | 89,92                              | 0,09 | 0,07 | 2,30                 |
|      | 20-40      | 1,32    | 3,97                     | 1,12                | 20,08 | 10,28 | 0,63 | 1,22  | 0,48 | 1,53 | 96,19                              | 0,06 | 0,05 | 2,41                 |
|      | 40-60      | 1,42    | 3,95                     | 0,89                | 35,11 | 13,03 | 0,67 | 1,19  | 0,43 | 2,68 | 93,36                              | 0,06 | 0,05 | 2,47                 |
| B    | 0-20       | 3,39    | 3,98                     | 0,86                | 45,04 | 26,13 | 0,61 | 2,65  | 0,58 | 2,89 | 80,02                              | 0,18 | 0,45 | 3,72                 |
|      | 20-40      | 2,45    | 4,19                     | 0,68                | 32,59 | 23,36 | 0,61 | 2,06  | 0,25 | 1,00 | 91,76                              | 0,05 | 0,11 | 2,85                 |
|      | 40-60      | 1,72    | 4,41                     | 0,68                | 27,63 | 11,26 | 0,56 | 1,40  | 0,19 | 0,75 | 94,25                              | 0,03 | 0,03 | 2,29                 |

Onde: A = arenoso; B = argiloso; % x10= g/kg; MO= matéria orgânica; V= saturação por base trocável; m= saturação por alumínio trocável; CTC<sub>efet.</sub>= capacidade de troca catiônica efetiva.

De acordo com a Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS), o valor da CTC efetiva de 2,30 cmol<sub>c</sub> /dm<sup>3</sup> – 3,72 cmol<sub>c</sub> /dm<sup>3</sup> (extremamente baixo) reflete que ambos os solos analisados, apresentam baixa capacidade de reter cátions. Segundo Lopes e Guilherme (2004), a capacidade de troca de cátions reflete o poder de retenção de cátions que o solo tem, consequentemente, os fatores que alteram o poder de retenção de cátions também alteram a CTC<sub>efet.</sub>, dentre estes fatores de alteração, os autores ressaltam o teor de matéria orgânica, a quantidade de argila presente no solo e o pH.

Ambos os tipos de solo apresentaram teores extremamente baixos de vários nutrientes (Ca, Mg, K, P, B, S e Zn). Valores altos de m indicam solos com alto impedimento ao crescimento da planta por toxidez de alumínio (> 40%), em geral, quanto mais ácido é um solo, maior o teor de Al trocável em valor absoluto, menores os teores de Ca, Mg e K, menor a soma de bases e maior a percentagem de saturação por alumínio (LOPES e GUILHERME, 2004).

Valores altos de V (> 50%) são desejáveis (CQFS), porque refletem alto potencial do solo para nutrição da planta, porém, os dois tipos de solos apresentam V < 50%, sendo portanto, considerados solos de baixa fertilidade.

Além disso, ambos os solos apresentaram acidez excessiva (pH < 4). Como a planta retira seus nutrientes diretamente da solução do solo, o pH dessa solução afeta diretamente a eficiência da absorção de nutrientes pelas células das raízes da planta e, assim, afetam sua produtividade (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). O autor resalta ainda, que para valores de pH abaixo de 4 em solos com baixos teores de cálcio como foi o caso de ambos os

tipos de solo estudados, as plantas cultivadas podem ter as membranas celulares rompidas e parar de absorver nutrientes, ainda os fungos e actinomicetos mineralizarão mais lentamente a matéria orgânica.

Conforme Luz et al. (2002), as reservas de nutrientes na matéria orgânica deixam de ser utilizadas em solos com pH baixo, pois os agentes (bactérias) que a mineralizam rapidamente e liberam os nutrientes (principalmente N, S e B) para as plantas, trabalham ativamente em pH próximo da neutralidade (pH 7). O autor salienta ainda, que as principais causas da acidez são a lavagem do perfil do solo pelas águas da chuva, a retirada do cálcio e do magnésio pelo cultivo intensivo, a erosão que remove a camada mais superficial do solo, e a adubação com fertilizantes nitrogenados contendo amônio, como o sulfato de amônio, nitrato de amônio e uréia.

Os nutrientes estão distribuídos no solo na forma disponível e na forma não disponível para a planta. Os nutrientes disponíveis para a planta estão localizados na solução do solo, no seu complexo de troca e na matéria orgânica mineralizável, sendo que o nível de disponibilidade de nutrientes à planta é de primordial importância no rendimento das culturas (LUZ et al., 2002). Na Tabela 5 podemos observar o estoque total de nutrientes disponíveis em cada tipo de solo analisado.

Tabela 5 - Estoque total de nutrientes disponíveis nos diferentes tipos de solo.

| Solo | Prof         | N*            | P           | K             | Ca            | Mg            | S             | B           | Cu           | Zn          |
|------|--------------|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|--------------|-------------|
|      | (cm)         |               |             |               |               |               |               |             |              |             |
| A    | 0-20         | 92,60         | 3,22        | 61,84         | 36,07         | 17,02         | 18,16         | 1,1         | 2,5          | 1,08        |
|      | 20-40        | 63,66         | 2,24        | 40,16         | 24,05         | 12,16         | 20,56         | 1,26        | 2,44         | 0,96        |
|      | 40-60        | 66,70         | 1,78        | 70,22         | 24,05         | 12,16         | 26,06         | 1,34        | 2,28         | 0,86        |
|      | <b>Total</b> | <b>222,96</b> | <b>7,24</b> | <b>172,22</b> | <b>84,17</b>  | <b>41,34</b>  | <b>64,78</b>  | <b>3,7</b>  | <b>7,22</b>  | <b>2,9</b>  |
| B    | 0-20         | 169,47        | 1,72        | 90,08         | 72,15         | 109,40        | 52,26         | 1,22        | 5,30         | 1,16        |
|      | 20-40        | 122,37        | 1,36        | 65,18         | 20,04         | 26,74         | 46,72         | 1,22        | 4,12         | 0,50        |
|      | 40-60        | 86,05         | 1,36        | 55,26         | 12,02         | 7,30          | 22,52         | 1,12        | 2,80         | 0,38        |
|      | <b>Total</b> | <b>377,90</b> | <b>4,44</b> | <b>210,22</b> | <b>104,21</b> | <b>143,44</b> | <b>121,50</b> | <b>3,56</b> | <b>12,22</b> | <b>2,04</b> |

\* 10 % como disponível.

Conforme verificado nos valores encontrados para o estoque total de nutrientes disponíveis em cada tipo de solo, para o híbrido *Eucalyptus urograndis*, todos os nutrientes estão presentes em maiores quantidades nas camadas superiores, segundo Witschoreck

(2008), a maioria dos processos que representam a entrada de nutrientes se dá de forma mais intensa nas camadas superficiais de solo, para a maioria dos solos, e apresentam um padrão de distribuição dos nutrientes decrescente com o aumento da profundidade. O estoque de nutrientes no solo pode ser incrementado, por entradas via precipitação atmosférica, decomposição de resíduos orgânicos e das raízes, e de exsudações das raízes e é reduzido, pela lixiviação através da água de drenagem, absorção pelas plantas e colheita florestal (PALLARDY, 2008).

A baixa disponibilidade de N para as plantas esta relacionada ao baixo teor de matéria orgânica encontrado em ambos os tipos de solo. O nitrogênio encontra-se no solo na forma orgânica (não disponível), que representa 90% - 97% do N total no solo, e uma pequena porção na forma inorgânica (disponível), representando somente 3% - 10% do N total do solo (GOMES, 2009; SERRA, 2006; BREMNER, 1965). Segundo Mengel (1996), a maior parte de N presente no solo é resistente a mineralização, e a absorção de N pelas plantas pode ainda levar a uma disponibilidade ainda menor de N mineralizável.

Conforme Gomes (2009), as quantidades e formas de N mineral produzidas em solos sob florestas, dependem das propriedades físicas, químicas e principalmente biológicas do solo. Além disso, Serra (2006) salienta, que dentre os principais fatores que afetam a disponibilidade de N no solo são a umidade, o clima, a lixiviação, a profundidade e textura do solo, o teor de MO e a atividade microbiana. Desta forma, os solos argilosos apresentam uma maior capacidade de suprimento de N para as plantas, e por apresentarem uma maior CTC, o nitrogênio mineral não facilmente lixiviado também é maior, quando comparado com os solos arenosos (OLIVEIRA, 1987).

## **4.2 Características Dendrométricas**

Na Tabela 6, podemos verificar que houve pequena variabilidade nas variáveis dendrométricas para os diferentes tipos de solo observados, no híbrido *Eucalyptus urograndis*.

Tabela 6 - Índices dendrométricos de *Eucalyptus urograndis* em cada tipo de solo.

| Solo     | Índices | N / ha | Idade | DAP   | Altura | G                               | V com.                          | V total                         |
|----------|---------|--------|-------|-------|--------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|          |         |        | Anos  | cm    | m      | m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> | m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> | m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |
| Arenoso  | Média   | 1333   | 7     | 18,07 | 27,3   | 34,92                           | 423,5                           | 448                             |
|          | DesvPad | —      | —     | 0,52  | 0,63   | 0,64                            | 13,62                           | 12,35                           |
|          | CV %    | —      | —     | 2,88  | 2,31   | 1,83                            | 3,22                            | 2,76                            |
| Argiloso | Média   | 1333   | 7     | 17,8  | 28,7   | 33,43                           | 441,75                          | 467,75                          |
|          | DesvPad | —      | —     | 0,59  | 1,19   | 2,73                            | 45,08                           | 46,31                           |
|          | CV %    | —      | —     | 3,31  | 4,15   | 8,17                            | 10,2                            | 9,9                             |

Onde: DAP = diâmetro altura do peito; G = área basal; V com = volume comercial, V total = volume total; DesvPad = desvio padrão da média e CV = coeficiente de variação da média.

Aos 7 anos de idade os povoamentos no solo arenoso e argiloso apresentaram aproximadamente diâmetro médio de 18,07 e 17,8 cm, respectivamente. O número inicial de plantas de eucalipto foi de 1333 árvores ha<sup>-1</sup>, após 7 anos ocorreu redução para 1243 árvores ha<sup>-1</sup>. O volume total médio para o solo B (solo com textura argilosa) foi 4,22% superior ao volume médio do solo A, assim como, o volume comercial médio que foi 4,13% superior. Para a altura média das árvores, houve um aumento de 1,4 m para o solo do tipo B.

### 4.3 Biomassa Arbórea

A biomassa arbórea total do *Eucalyptus urograndis* para o solo A e B aos 7 anos de idade, respectivamente foi de 257,99 e 301,20 Mg ha<sup>-1</sup>. Apenas o componente madeira diferiu estatisticamente dos demais constituintes da biomassa arbórea em ambos os tipos de solo, como podemos observar na Tabela 7.

Tabela 7 - Produção de biomassa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de folhas, galhos, casca, madeira e raízes para *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos em diferentes tipos de solo, na região de Telêmaco Borba – PR.

| Solo     | Análise | Biomassa ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) |                   |                   |                    |                   |        |
|----------|---------|----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------|
|          |         | Folha                            | Galho             | Casca             | Madeira            | Raiz              | Total  |
| Arenoso  | Média   | 2,61<br><i>b</i>                 | 6,95<br><i>b</i>  | 13,49<br><i>b</i> | 191,90<br><i>a</i> | 43,05<br><i>b</i> | 257,99 |
|          | Desvpad | 1,81                             | 4,48              | 5,31              | 81,26              | 15,66             | —      |
|          | Cv %    | 69,35                            | 64,47             | 44,01             | 45                 | 36,37             | —      |
| Argiloso | Média   | 4,01<br><i>b</i>                 | 11,44<br><i>b</i> | 25,08<br><i>b</i> | 223,73<br><i>a</i> | 36,95<br><i>b</i> | 301,21 |
|          | Desvpad | 2,09                             | 9,74              | 36,89             | 112,27             | 4,24              | —      |
|          | Cv %    | 52,11                            | 85,13             | 160,3             | 50,18              | 11,47             | —      |

Onde: Desvpad = desvio padrão da media; CV = coeficiente de variação do conjunto de dados; Total = biomassa total do eucalipto. Letras diferentes em *itálico*, na horizontal indicam diferenças significativas entre os componentes da biomassa, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Considerando a produção de biomassa por componente, o solo B apresentou valores superiores de 34,91%, 39,25%, 46,21% e 14,22%, respectivamente para folhas, galhos, casca e madeira, em relação ao solo tipo A. Para o componente raiz, a maior produção foi para o solo tipo A, com 16,4 % superior ao solo B. Quanto à produção de biomassa total, o solo B apresentou 16,8 % a mais, em relação ao solo A. Segundo Serra (2006); Barros e Comerford (2002), em solos de baixa fertilidade, o aumento do teor de argila tende a propiciar maior retenção de água, influenciando o fluxo de nutrientes e conseqüentemente o aumento da produção de biomassa em um ecossistema florestal.

Para Saidelles (2005), o acúmulo de biomassa sofre algumas restrições em função da cobertura vegetal, o clima, a idade dos povoamentos, a época do ano e principalmente pelas condições do tipo de solo e da espécie, o que é ressaltado ainda por Guimarães (2014), o qual afirma que fatores genéticos (melhoramento e procedências), edafoclimáticos e de manejo estão relacionados diretamente a capacidade de produção das espécies.

Em um estudo realizado por Zhang et al. (2012), no Delta do Rio das Pérolas (PRD) no sul da China, ao agruparem espécies de eucalipto em três faixas etárias: < 6 anos, 6-15 anos e > 16 anos, encontraram um acúmulo de biomassa crescente com a idade do povoamento, atingindo, respectivamente  $54,63 \text{ Mg ha}^{-1}$ ,  $136,94 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $186,43 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Freitas et al. (2004) ao estudar a produção de biomassa em um povoamento de *E. grandis*, aos 9 anos de idade, encontrou uma produção total de biomassa de  $142,31 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Padrão similar

foi observado por Benatti (2013) estudando o clone de eucalipto I-144, com 6,5 anos de idade, na região dos Campos das Vertentes em MG, onde encontrou 143,87 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa arbórea. Diante disso, podemos observar que a produção de biomassa encontrada por todos os trabalhos citados acima encontra-se abaixo dos valores encontrados no presente estudo.

Segundo Guimarães (2014), ao estudar diferentes espécies de eucalipto no Bioma Pampa do RS, encontrou uma produção de biomassa de 136,7 Mg ha<sup>-1</sup>; 121,9 Mg ha<sup>-1</sup>; 158,1 Mg ha<sup>-1</sup> para *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunni* e o híbrido *Eucalyptus urograndis*, respectivamente aos 6 anos. Resultados semelhantes também foram encontrados por Viera (2012) ao estudar a biomassa acima do solo de *E. urophylla* x *E. globulus*, aos 10 anos de idade em Eldorado do Sul, RS, onde o autor encontrou 198,5 Mg ha<sup>-1</sup> de biomassa acima do solo. Contudo para Gonzalez et al. (2011), analisando o potencial do uso do eucalipto como bioenergia no sul dos Estados Unidos, verificaram uma produção média de biomassa de 112 Mg ha<sup>-1</sup> aos 4 anos de idade. Também estes autores encontraram valores abaixo dos observados pelo presente estudo, estando este portanto, acima da média encontrada na grande maioria das literaturas citadas pelo presente trabalho.

A distribuição da biomassa por componente arbóreo apresentou a seguinte ordem: madeira (74,38%) > raiz (16,69) > casca (5,23%) > galhos (2,60%) > folhas (1,01%), para o solo A, e madeira (74,28%) > raiz (12,27) > casca (8,33%) > galhos (3,80%) > folhas (1,33%) para o solo B, como podemos observar na Figura 7.

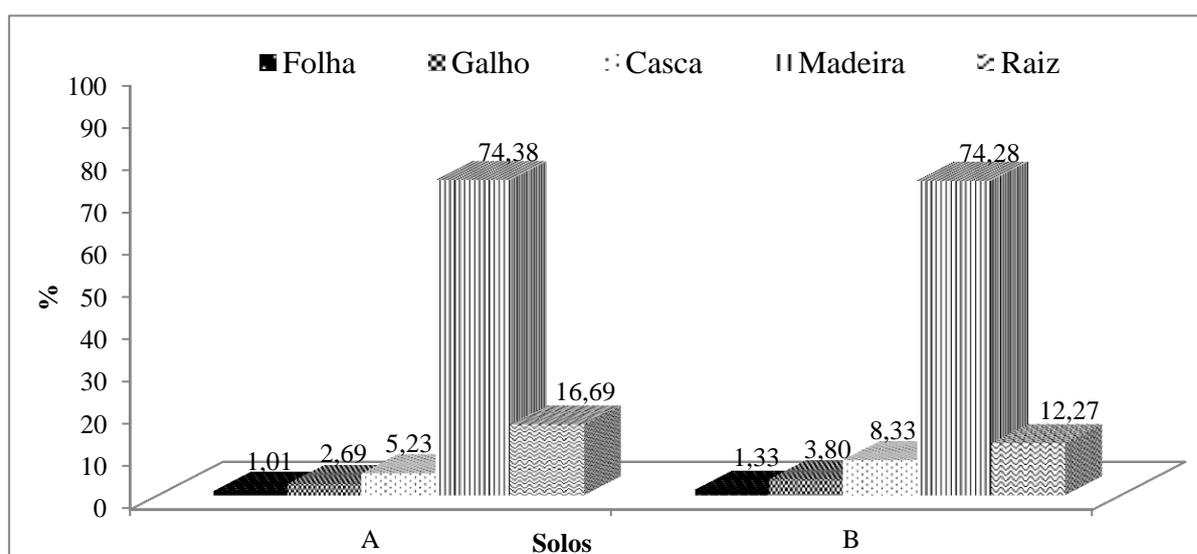


Figura 7 - Distribuição relativa da biomassa arbórea por compartimento, em diferentes tipos de solo com *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos de idade. Onde: A = solo arenoso; B = solo argiloso

Geralmente a biomassa acima do solo é distribuída na seguinte ordem: madeira > galhos > casca > folhas (CURLIN, 1970), sendo esta sequência semelhante à encontrada neste estudo e similar ao observado por Schumacher (1995), ao estudar um povoamento de *E. saligna* aos 7 anos de idade plantado no Horto Florestal Barba Negra, RS, o autor encontrou a maior contribuição de biomassa na seguinte ordem: madeira > casca > ramos > folhas. Laclau et al. (2000), ao estudar a dinâmica da biomassa em uma plantação de *Eucalyptus* aos 7 anos de idade no Congo, encontrou valores semelhantes ao encontrado neste estudo, sendo que o compartimento madeira representou 84% de toda a biomassa seca.

Ainda, Londero (2011), ao estudar clones de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade em Guaíba, RS, obteve uma contribuição para a biomassa relativa de: 73,7% madeira; 6,1% casca; 3,2% galhos e 1,7% para folhas, sendo estes valores similares aos encontrados no presente trabalho, porém a baixa produção de galhos encontrada no presente estudo (2,69% para o solo A e 3,80% para o solo B), é devido ao fato de a espécie em estudo tratar-se de um híbrido, onde os critérios de seleção de materiais genéticos é a baixa presença de galhos e que estes sejam preferencialmente finos.

Em um estudo realizado por Alves (2007), em povoamentos de diferentes clones de *Eucalyptus* spp. com 4,5 anos de idade, encontrou-se alocação média de biomassa em termos percentuais, de madeira, 70,01%; galhos, 12,56%; casca, 8,98% e folhas, 8,45%. Ainda Schumacher e Caldeira (2004) estudando a biomassa de um povoamento de *Eucalyptus saligna* aos 7 anos de idade no estado do RS, obtiveram percentuais de 3% para folhas, 5% para os galhos, 8% para a casca e 84% para o componente madeira.

De acordo com Abrahamson e Gadgil (1973), a distribuição da biomassa nos diferentes órgãos da planta, varia de espécie para espécie e até mesmo em uma população da mesma espécie, bem como, em função das condições edafoclimáticas. Da procedência (CALDEIRA, 1998), das características ecofisiológicas das espécies e do número de árvores por hectare (SCHUMACHER, 1995). Além disso, Kozlowski e Pallardy (1996), ressaltam que a biomassa acumulada é afetada por todos os fatores que prejudicam a fotossíntese e a respiração.

Para Schumacher (1992); Gonçalves et al. (2000); Reis e Barros (1990), com o crescimento e desenvolvimento de uma floresta, a produção de biomassa do lenho tende a aumentar devido ao fato de que boa parte dos carboidratos que antes era utilizada para a produção de folhas, passa então a ser canalizada para a produção do lenho, diminuindo gradativamente a produção de folhas e ramos. Outros fatores que afetam a distribuição

percentual da biomassa, nos diferentes componentes das árvores, além da idade, são: a espécie, a fertilidade do solo e a densidade de plantio (SCHUMACHER et al., 2011).

Para o componente raiz, houve uma inversão nos valores encontrados para os distintos solos, quando comparado com a contribuição dos demais compartimentos para a biomassa total seca. No solo A (solo com textura arenosa), a produção de raízes foi maior, representando 16,00% da biomassa total, já para o solo B (solo com textura argilosa), as raízes contribuíram com apenas 12,27% para a biomassa total.

Reis et al. (1985), estudando o acúmulo de biomassa numa sequência de idades de *Eucalyptus grandis*, em duas áreas com diferentes produtividades, estimaram na área menos produtiva uma participação percentual maior do sistema radicular, apresentando uma tendência de compensar a baixa fertilidade do solo com o desenvolvimento de um sistema radicular mais extenso, capaz de acessar um maior volume de solo, o que pode justificar a maior biomassa de raízes no solo A, encontrado neste estudo.

A proliferação de raízes em ambientes com menor concentração de nutrientes é um comportamento adaptativo bem conhecido. As produções de raízes longas e finas são também características desejáveis para aumentar a eficiência de absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo (BARBER, 1995). Em solos arenosos como é o caso do solo A no presente estudo, a lixiviação e disponibilidade de nutrientes são elevadas, porém há uma maior porosidade no solo, o que faz com que as plantas consigam desenvolver um sistema radicular capaz de penetrar até grandes profundidades e expandir-se, em busca de nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta.

Diante disso, provavelmente quanto mais produtivo for o sítio, menos desenvolvido será o seu sistema radicular, ao contrário, quando o sítio é pouco produtivo, as plantas, para atenderem as suas exigências nutricionais, necessitam um sistema radicular mais amplo e desenvolvido, capaz de absorver grande quantidade de nutrientes presentes no solo.

Diversos estudos confirmam que os fatores que determinam o crescimento radicular são complexos e englobam condições ambientais, tanto da parte aérea como da subterrânea e principalmente uma forte influência genética (GONCALVES; MELLO, 2004). Nesse sentido, os mesmos autores constatarem que em solos com baixa disponibilidade de água e nutrientes, como é o caso do solo A neste estudo, as árvores tendem a produzir raízes mais longas, assim explorando um maior volume de solo num menor período de tempo, o que conseqüentemente aumenta a biomassa total de raízes.

Além disso, dentre os fatores que coordenam a distribuição das raízes no solo o principal é o genótipo da espécie, mas ele pode ser influenciado por outros fatores inerentes

ao solo, como fertilidade, densidade, disponibilidade de oxigênio, textura, temperatura e, também, pelas circunstâncias em que a espécie se desenvolve, por exemplo, competição e espaçamento entre árvores (GONÇALVES; MELLO, 2004).

#### **4.4 Quantificação do estoque de nutrientes na biomassa**

##### 4.4.1 Teores de nutrientes

Os teores de macro e micronutrientes nos diferentes componentes da biomassa arbórea no povoamento de eucalipto analisado, foram significativamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ), em ambos os tipos de solo, como mostra a Tabela 8. Com exceção do Cálcio, que esteve mais presente na fração casca no solo arenoso e Cálcio e Magnésio no solo argiloso, os demais componentes apresentaram os maiores teores no componente folha, em ambos os tipos de solo. Os menores teores de macronutrientes, tanto para o solo A como para o solo B, foram encontrados no componente madeira.

No solo arenoso, os maiores teores de micronutrientes estão nas folhas (Boro e Cobre), seguido por raízes (Ferro e Zinco), e cascas (Manganês). Já para o solo argiloso, os maiores teores estão nas folhas (Boro e Manganês), galhos (Cobre e Zinco) e raízes (Ferro). Em ambos os solos, as menores concentrações estão no componente madeira (B, Cu, Fe, Mn) e casca (Zn). Estas variações estão relacionadas com a capacidade que o sistema radicular tem em absorver nutrientes e o grau de eficiência que as árvores possuem na translocação e metabolização desses nutrientes (WOLKWEISS, 1986).

Em termos gerais, o componente folha é que apresenta as maiores concentrações de nutrientes, seguido pelo componente casca, já os galhos e as raízes apresentam valores intermediários de concentração de nutrientes, em ambos os solos analisados, conforme podemos observar na Tabela 8.

Tabela 8 - Concentração de nutrientes nos componentes da biomassa arbórea em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo.

| Solo | Comp         | Macronutrientes g kg <sup>-1</sup> |              |              |              |              | Micronutrientes mg kg <sup>-1</sup> |              |                |               |                |              |
|------|--------------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------|--------------|----------------|---------------|----------------|--------------|
|      |              | N                                  | P            | K            | Ca           | Mg           | S                                   | B            | Cu             | Fe            | Mn             | Zn           |
| A    | F            | 21,28                              | 1,38         | 11,75        | 4,58         | 3,3          | 1,17                                | 13,58        | 5,35           | 118,78        | 576,33         | 12,79        |
|      |              | <i>±2,34</i>                       | <i>±0,21</i> | <i>±2,32</i> | <i>±0,56</i> | <i>±0,38</i> | <i>±0,18</i>                        | <i>±2,75</i> | <i>±0,42</i>   | <i>±29,31</i> | <i>±148,77</i> | <i>±2,41</i> |
|      |              | a                                  | a            | a            | b            | a            | a                                   | a            | a              | ab            | a              | a            |
|      | G            | 3,2                                | 0,32         | 5,3          | 2,89         | 0,85         | 0,39                                | 6,72         | 2,92           | 20,57         | 383,91         | 8,30         |
|      |              | <i>±0,85</i>                       | <i>±0,13</i> | <i>±1,03</i> | <i>±0,98</i> | <i>±0,41</i> | <i>±0,03</i>                        | <i>±1,38</i> | <i>±1,17</i>   | <i>±12,22</i> | <i>±117,57</i> | <i>±2,32</i> |
|      |              | b                                  | c            | c            | c            | b            | bc                                  | b            | bc             | b             | b              | ab           |
|      | C            | 3,92                               | 0,51         | 9,83         | 8,16         | 2,23         | 0,40                                | 7,99         | 3,31           | 46,99         | 604,71         | 6,20         |
|      |              | <i>±0,35</i>                       | <i>±0,11</i> | <i>±1,91</i> | <i>±1,75</i> | <i>±0,21</i> | <i>±0,04</i>                        | <i>±0,9</i>  | <i>±0,53</i>   | <i>±10,22</i> | <i>±77,6</i>   | <i>±1,39</i> |
|      |              | b                                  | b            | b            | a            | a            | b                                   | b            | b              | ab            | a              | b            |
|      | M            | 1,25                               | 0,09         | 1,31         | 0,49         | 0,18         | 0,24                                | 1,33         | 2,43           | 12,80         | 61,59          | 8,23         |
|      |              | <i>±0,12</i>                       | <i>±0,01</i> | <i>±0,12</i> | <i>±0,09</i> | <i>±0,03</i> | <i>±0,04</i>                        | <i>±0,26</i> | <i>±0,53</i>   | <i>±2,56</i>  | <i>±16,34</i>  | <i>±1,44</i> |
|      |              | c                                  | d            | d            | d            | c            | cd                                  | c            | cd             | b             | c              | b            |
| R    | 3,93         | 0,19                               | 1,54         | 1,59         | 0,59         | 0,42         | 8,89                                | 3,75         | 651,12         | 88,17         | 16,22          |              |
|      | <i>±0,26</i> | <i>±0,05</i>                       | <i>±0,34</i> | <i>±0,98</i> | <i>±0,14</i> | <i>±0,03</i> | <i>±2,09</i>                        | <i>±0,63</i> | <i>±216</i>    | <i>±13,15</i> | <i>±3,35</i>   |              |
|      | c            | d                                  | d            | d            | c            | d            | c                                   | d            | a              | c             | b              |              |
| B    | F            | 22,18                              | 1,21         | 12,18        | 6,66         | 2,93         | 1,10                                | 24,10        | 10,37          | 135,90        | 527,05         | 10,89        |
|      |              | <i>±1,26</i>                       | <i>±0,10</i> | <i>±1,93</i> | <i>±1,18</i> | <i>±0,41</i> | <i>±0,23</i>                        | <i>±4,03</i> | <i>±2,39</i>   | <i>±32,57</i> | <i>±185,22</i> | <i>±1,62</i> |
|      |              | a                                  | a            | a            | c            | a            | a                                   | a            | a              | ab            | a              | b            |
|      | G            | 4,69                               | 0,41         | 4,83         | 8,60         | 1,77         | 0,26                                | 10,41        | 12,81          | 113,79        | 424,70         | 16,03        |
|      |              | <i>±1,00</i>                       | <i>±0,14</i> | <i>±1,69</i> | <i>±2,65</i> | <i>±0,45</i> | <i>±0,03</i>                        | <i>±2,22</i> | <i>±4,11</i>   | <i>±52,98</i> | <i>±120,43</i> | <i>±6,35</i> |
|      |              | b                                  | c            | c            | b            | b            | b                                   | b            | a              | ab            | a              | a            |
|      | C            | 3,97                               | 0,59         | 7,58         | 11,48        | 2,99         | 0,28                                | 12,23        | 3,86           | 61,69         | 468,59         | 6,99         |
|      |              | <i>±0,32</i>                       | <i>±0,19</i> | <i>±1,95</i> | <i>±1,58</i> | <i>±0,52</i> | <i>±0,04</i>                        | <i>±1,10</i> | <i>±0,77</i>   | <i>±20,41</i> | <i>±88,68</i>  | <i>±0,54</i> |
|      |              | b                                  | b            | b            | a            | a            | b                                   | b            | b              | b             | a              | bc           |
|      | M            | 1,09                               | 0,07         | 1,10         | 0,65         | 0,19         | 0,25                                | 1,33         | 2,43           | 12,80         | 61,59          | 8,23         |
|      |              | <i>±0,12</i>                       | <i>±0,02</i> | <i>±0,16</i> | <i>±0,17</i> | <i>±0,04</i> | <i>±0,06</i>                        | <i>±0,50</i> | <i>±0,54</i>   | <i>±6,39</i>  | <i>±8,02</i>   | <i>±2,87</i> |
|      |              | c                                  | d            | d            | d            | c            | b                                   | c            | b              | b             | b              | bc           |
| R    | 3,73         | 0,24                               | 4,08         | 2,42         | 1,10         | 0,26         | 14,64                               | 8,09         | 1475,81        | 68,38         | 12,71          |              |
|      | <i>±0,21</i> | <i>±0,03</i>                       | <i>±0,46</i> | <i>±0,61</i> | <i>±0,20</i> | <i>±0,01</i> | <i>±2,92</i>                        | <i>±1,19</i> | <i>±197,11</i> | <i>±11,98</i> | <i>±2,39</i>   |              |
|      | c            | d                                  | d            | d            | c            | c            | c                                   | b            | a              | b             | c              |              |

Onde: Solo A = arenoso; Solo B = argiloso; Comp. = Componentes; F = Folhas; G = Galhos; C = Casca; M = Madeira; R = Raízes. Valores em *itálico* indicam o desvio padrão de cada componente. Letras diferentes na vertical indicam diferenças significativas entre os componentes da biomassa, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

O compartimento composto pelas folhas é o que melhor reflete o estado nutricional das árvores, pois é nele que encontram-se os maiores teores de nutrientes, principalmente de nitrogênio. Isso justifica-se, por este elemento participar da maioria das reações do metabolismo de compostos (aminoácidos, proteínas, aminas, amidas, vitaminas, etc.), as quais têm seu sítio de ocorrência principal nas folhas, em virtude da fotossíntese (MALAVOLTA, 1985) e ainda por ser o nitrogênio um elemento com grande disponibilidade nos tecidos vegetais, não tendo necessidade de se retranslocar totalmente.

Além do N, o K também apresentou maiores concentrações nas folhas, em ambos os tipos de solo, isso porque segundo Schumacher (2003), o potássio, é um elemento altamente móvel no floema e prontamente redistribuído para os órgãos novos em crescimento, sua principal função é atuar na regulação do potencial osmótico de células da planta sendo o elemento mais importante para o crescimento celular, além de ativar as enzimas da respiração e da fotossíntese (MARSCHNER, 1995).

A exemplo do potássio, segundo Brun (2004), o fósforo tem ampla mobilidade dentro da planta, com isso ele tende a se concentrar nos órgãos mais novos, no caso deste estudo, no componente folha. Além disso, sua elevada concentração nas folhas deve-se ao fato, de que este elemento é um componente integral de importantes compostos da planta, incluindo açúcares-fosfato, fosfolipídios de membranas, nucleotídeos usados como fonte de energia e nos ácidos nucléicos (MARSCHNER, 1995).

Essa mesma tendência, de maior concentração de nutrientes nas folhas, foi encontrada por Bellote et al. (1980), Haag (1985), Guo et al. (2002), Turner e Lambert (2008), Viera (2012) e Guimarães (2014).

Segundo Viera (2010), essa tendência que a maioria dos nutrientes tem de concentrar-se nas estruturas mais novas da planta é devida ao fato de as folhas possuírem maior atividade metabólica, necessitando dessa forma, maior disponibilidade de nutrientes. Além disso, o mesmo autor salienta ainda que é nessas regiões que se encontra a maioria das células vivas, responsáveis pela fotossíntese e pela transpiração.

Dentre os fatores que causam a variação nos níveis de nutrientes no componente folha, podem se citar: comprimento do dia, idade das árvores, o efeito de pragas e doenças (EVANS, 1979); a idade do material amostrado (ZOTTL e TSCHINKEL, 1971); a posição das folhas na copa, a época de coleta, o estado fisiológico das folhas (LE TACON, 1969; LAMB, 1976; GONÇALVES e BENEDETTI, 2005), os parâmetros do solo (BATAGLIA e DECHEN, 1986), a espécie usada, condições de sítio e procedências (CALDEIRA 1998).

A Tabela 8 demonstra ainda, que o maior teor de Cálcio é armazenado na casca em ambos os tipos de solo para a espécie em estudo. Segundo Brun (2004), este acúmulo pode ser justificado pelo fato de que o Ca é um elemento praticamente imóvel no floema das plantas, por ser um componente estrutural e fazer parte da lamela média da membrana celular. Além disso, o Ca desempenha uma importante função na lignificação dos traqueídeos (WESTERMARK, 1982; ALBERSHEIN, 1978). O elevado teor de Ca no componente casca também foi encontrada em outros estudos realizados por Belotte et al. (1980); Lambert et al. (1981); Salvador (2012); Benatti (2013).

Os elevados teores de Fe encontrados nas raízes em ambos os tipos de solo, justificam-se, que este compartimento da planta pode ter sido contaminado por óxidos de Fe contidos no solo durante o preparo das amostras, conforme observado também por Guimarães (2014).

As diferenciações dos tecidos, além da importância fisiológica de cada compartimento da planta, afetam o acúmulo de nutrientes, sendo que as menores concentrações de nutrientes neste estudo foram encontradas no componente madeira. Esta menor contribuição nutricional por este compartimento, esta associada à retranslocação interna de nutrientes, por ser a madeira um compartimento com atividade fisiológica menos intensa.

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

Assim, a distribuição dos nutrientes nos vários componentes das árvores tem grande importância na nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas. O manejo intensivo das plantações pode aumentar a produção de biomassa, mas, também pode aumentar a remoção de nutrientes (SILVA, POGGIANI e COELHO, 1983).

#### 4.4.2 Quantidades de nutrientes

Para os macronutrientes, a magnitude de armazenamento dos diferentes elementos na biomassa total acima e abaixo do solo apresentou a seguinte ordem decrescente de acúmulo:  $N > K > Ca > Mg > S > P$ , para o solo arenoso. No solo argiloso, houve uma inversão nos valores de N, K e Ca, ficando então a magnitude decrescente de macronutrientes na seguinte ordem:  $K > Ca > N > Mg > S > P$ . Porém, para ambos os tipos de solo a ordem de micronutrientes foi semelhante, sendo esta:  $Fe > Mn > Zn > B > Cu$ , como pode - se observar na Tabela 9.

Tabela 9 - Quantidade de nutrientes nos diferentes componentes da biomassa de *Eucalyptus urograndis*, aos 7 anos de idade na região de Telêmaco Borba – PR.

| Solo | Comp.        | Biom.<br>(Mg ha <sup>-1</sup> ) | Macronutrientes kg ha <sup>-1</sup> |             |              |              |              |             | Micronutrientes g ha <sup>-1</sup> |               |                |                |               |
|------|--------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------------------------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
|      |              |                                 | N                                   | P           | K            | Ca           | Mg           | S           | B                                  | Cu            | Fe             | Mn             | Zn            |
| *A   | F            | 2,6                             | 55,3                                | 3,6         | 30,6         | 11,9         | 8,6          | 3,0         | 35,3                               | 13,9          | 308,8          | 1498,5         | 33,3          |
|      | G            | 6,9                             | 22,1                                | 2,2         | 36,6         | 19,9         | 5,9          | 2,7         | 46,4                               | 20,1          | 141,9          | 2649,0         | 57,3          |
|      | C            | 13,5                            | 52,9                                | 6,9         | 132,7        | 110,2        | 30,1         | 5,4         | 107,9                              | 44,7          | 634,4          | 8163,6         | 83,7          |
|      | M            | 191,9                           | 239,9                               | 17,3        | 251,4        | 94,0         | 34,5         | 46,1        | 255,2                              | 466,3         | 2456,3         | 11819,1        | 1579,3        |
|      | R            | 43,1                            | 169,4                               | 8,2         | 66,4         | 68,5         | 25,4         | 18,1        | 383,2                              | 161,6         | 28063,3        | 3800,1         | 699,1         |
|      | <b>Total</b> | <b>258,0</b>                    | <b>539,6</b>                        | <b>38,1</b> | <b>517,6</b> | <b>304,6</b> | <b>104,5</b> | <b>75,3</b> | <b>827,9</b>                       | <b>706,7</b>  | <b>31604,7</b> | <b>27930,3</b> | <b>2452,6</b> |
| *B   | F            | 4,1                             | 90,9                                | 5,0         | 49,9         | 27,3         | 12,0         | 4,5         | 98,8                               | 42,5          | 557,2          | 2160,9         | 44,6          |
|      | G            | 11,4                            | 53,5                                | 4,7         | 55,1         | 98,0         | 20,2         | 3,0         | 118,7                              | 146,0         | 1297,2         | 4841,6         | 182,7         |
|      | C            | 25,1                            | 99,6                                | 14,8        | 190,3        | 288,1        | 75,0         | 7,0         | 307,0                              | 96,9          | 1548,4         | 11761,6        | 175,4         |
|      | M            | 223,7                           | 243,8                               | 15,7        | 246,1        | 145,4        | 42,5         | 55,9        | 297,5                              | 543,6         | 2863,4         | 13777,7        | 1841,1        |
|      | R            | 36,9                            | 137,6                               | 8,9         | 150,6        | 89,3         | 40,6         | 9,6         | 540,2                              | 298,5         | 54457,4        | 2523,2         | 469,0         |
|      | <b>Total</b> | <b>301,2</b>                    | <b>625,5</b>                        | <b>49,0</b> | <b>691,9</b> | <b>648,2</b> | <b>190,3</b> | <b>80,0</b> | <b>1362,2</b>                      | <b>1127,5</b> | <b>60723,6</b> | <b>35065,0</b> | <b>2712,9</b> |

Onde \*A= solo arenoso e \*B solo argiloso.

O estoque total de nutrientes encontrado no solo arenoso foi de 1,64 Mg ha<sup>-1</sup>, e a importância geral de armazenamento para os nutrientes nos componentes da biomassa seguiu a referida ordem de: madeira > raízes > casca > folhas > galhos. Para o solo argiloso houve uma inversão nas quantidades de folhas e galhos, sendo o estoque total de nutrientes dos galhos foi mais representativo do que o estoque no compartimento folhas, bem como para os compartimentos casca e raiz seguindo, portanto, a ordem de contribuição de: madeira > casca > raízes > galhos > folhas e o estoque total de nutrientes armazenados na biomassa foi de 2,39 Mg ha<sup>-1</sup>.

Viera (2010), relata que as maiores concentrações de nutrientes em árvores estão nos tecidos das copas. No entanto, a maior quantidade de biomassa encontra-se no tronco (madeira + casca), que é a parte normalmente explorada, como pode ser observado nos resultados encontrados por este estudo.

De um modo geral, todos os nutrientes apresentam a maior contribuição relativa no componente madeira, exceto o Ca que apresentou maior estoque na casca e Fe nas raízes, para o solo arenoso. Contudo, para o solo argiloso, a maior expressividade de Ca e Mg está nas cascas, já o compartimento raiz comporta o maior conteúdo de B e Fe, e os demais nutrientes encontram-se em maior contribuição relativa no compartimento madeira (Figuras 8 e 9).

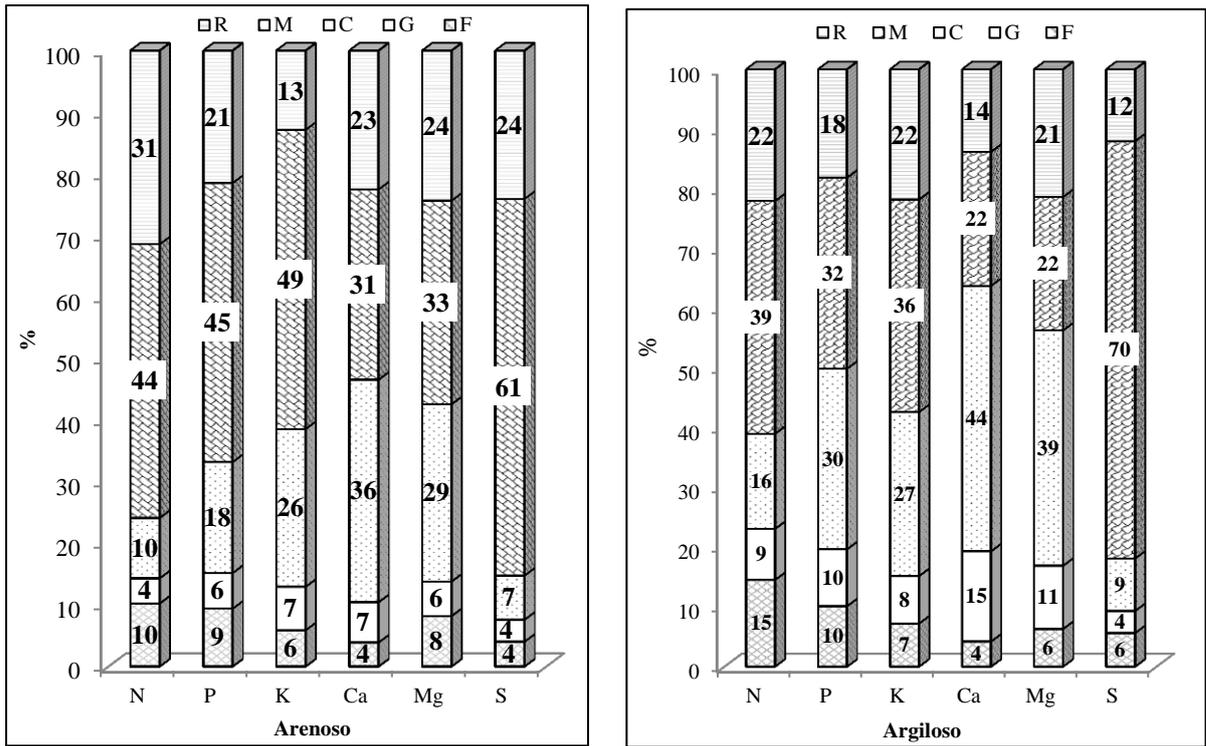


Figura 8 - Partição relativa (%) de macronutrientes nos compartimentos da biomassa em plantios de *Eucalyptus urograndis*, aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo.

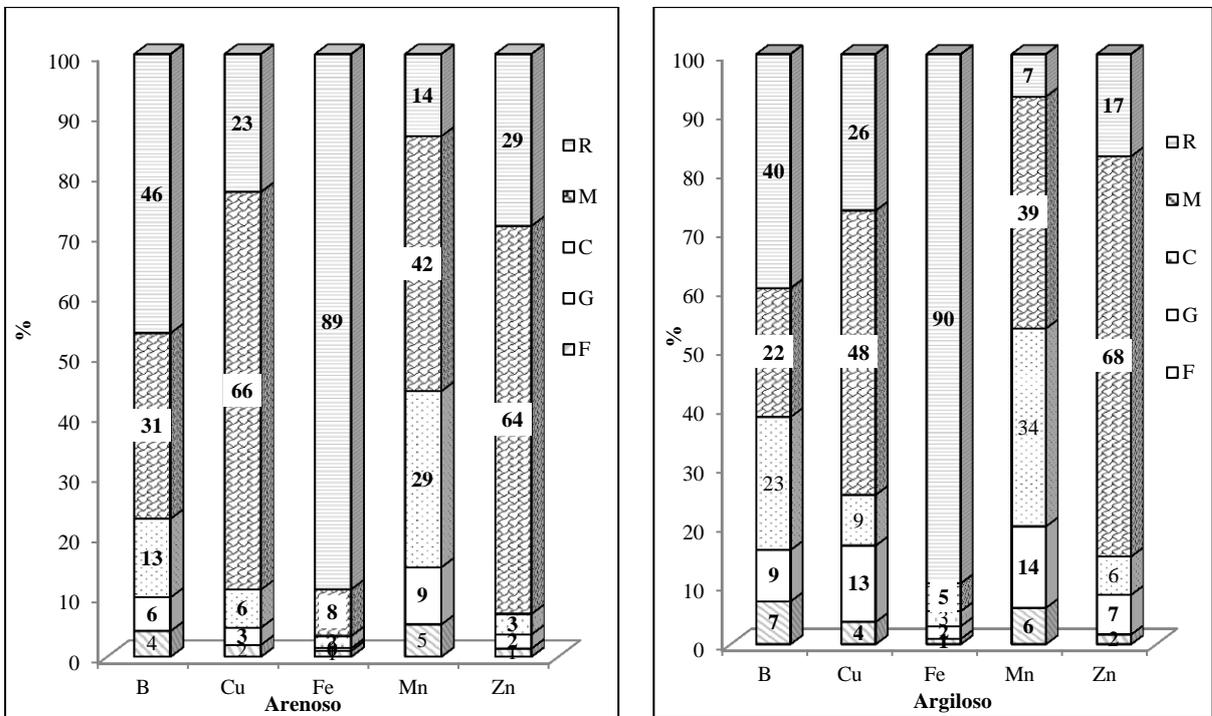


Figura 9 - Partição relativa (%) de micronutrientes nos compartimentos da biomassa em plantios de *Eucalyptus urograndis*, aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo.

Apesar da biomassa da casca ser significativamente menor do que a biomassa do tronco, no entanto, apresenta-se como um importante componente de armazenamento de nutrientes, notadamente o Ca. Moro (2005), ressalta que sua importância é notável na nutrição e na sustentabilidade florestal, uma vez que, devido à constituição física, a decomposição e a liberação dos nutrientes são mais aceleradas que no lenho. Além disso, apesar de acumular menos elementos móveis, a casca os armazena na forma de compostos solúveis de N e proteínas, que são fundamentais para o desenvolvimento de novos tecidos (BOWEN e NAMBIAR, 1984).

#### 4.5 Biomassa da serapilheira acumulada e nutrientes

A serapilheira acumulada foi superior no Solo argiloso (20,93 Mg ha<sup>-1</sup>), equivalente a 16,62% maior em relação ao Solo arenoso (17,35 Mg ha<sup>-1</sup>). A quantidade de macro e micronutrientes encontrada na serapilheira acumulada no solo argiloso, também foi superior quando comparada com a quantidade encontrada no solo arenoso. Na Tabela 10 podemos observar a biomassa e os teores de macronutrientes e micronutrientes encontrados na serapilheira acumulada no povoamento do híbrido *Eucalyptus urograndis*, para a região de Telêmaco Borba – PR.

Tabela 10 - Biomassa e teores de macro e micronutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo.

| Solo | Biom.<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | g kg <sup>-1</sup> |             |             |             |             |             | mg kg <sup>-1</sup> |             |               |              |             |
|------|--------------------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|---------------|--------------|-------------|
|      |                                | N                  | P           | K           | Ca          | Mg          | S           | B                   | Cu          | Fe            | Mn           | Zn          |
| A    | 17,35                          | 8,3                | 0,3         | 1,3         | 5,7         | 1,7         | 0,7         | 11,0                | 7,1         | 676,8         | 736,7        | 15,5        |
|      |                                | <i>a</i>           | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>b</i>    | <i>b</i>    | <i>b</i>    | <i>b</i>            | <i>b</i>    | <i>b</i>      | <i>a</i>     | <i>a</i>    |
|      |                                | <i>±0,5</i>        | <i>±0,1</i> | <i>±0,1</i> | <i>±0,6</i> | <i>±0,1</i> | <i>±0,3</i> | <i>±1,4</i>         | <i>±1,4</i> | <i>±95,5</i>  | <i>±59,5</i> | <i>±1,5</i> |
| B    | 20,93                          | 8,2                | 0,31        | 1,4         | 7,9         | 2           | 0,6         | 16,7                | 12,6        | 1068          | 583,4        | 15          |
|      |                                | <i>a</i>           | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>            | <i>a</i>    | <i>a</i>      | <i>b</i>     | <i>a</i>    |
|      |                                | <i>±0,8</i>        | <i>±0,1</i> | <i>±0,5</i> | <i>±1,1</i> | <i>±0,7</i> | <i>±0,1</i> | <i>±5,5</i>         | <i>±1,6</i> | <i>±154,8</i> | <i>±72,6</i> | <i>±0,5</i> |

Onde: A = solo arenoso; B = solo argiloso. Valores em *itálico* indicam o desvio padrão de cada nutriente. Letras diferentes em *itálico* na vertical indicam diferenças significativas entre os tipos de solo, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

A serapilheira acumulada é a principal fonte fornecedora da matéria orgânica para o solo, sendo que a parte da planta que fornece as maiores porções da manta, que compõe esta serapilheira, são as folhas (MELO; RESCK, 2003; SELLE, 2007). Além disso, ela é importante para aumentar a matéria orgânica no solo e disponibilizar nutrientes para as árvores. Em solos de baixa fertilidade, como é o caso do presente estudo, a quantidade depositada e a velocidade de decomposição da serapilheira podem representar aumento na produtividade do sítio.

Em um estudo realizado por Brun et al. (2013), em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, o autor encontrou 19,5 Mg ha<sup>-1</sup> de serapilheira acumulada sob o piso florestal. Valor similar ao encontrado no presente estudo, e ao observado por Andrade (2006), o qual encontrou uma biomassa de serapilheira acumulada de 21,3 Mg ha<sup>-1</sup> em povoamentos de *Eucalyptus grandis* aos 86 meses de idade.

A serapilheira acumulada sobre o solo apresentou valor superior aos encontrados por Santos et al. (2014), o qual relatou uma biomassa de 12,76 Mg ha<sup>-1</sup> e 12,00 Mg ha<sup>-1</sup> em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* aos 4,5 e 5 anos de idade, respectivamente, em São Gabriel, RS. Cunha Neto et al. (2013), avaliando o acúmulo de serapilheira em povoamentos de *Eucalyptus urograndis*, *Acacia mangium* e *Mimosa artemisiana*, com 4,5 anos de idade encontraram 13,42; 6,85 e 2,36 Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Witschoreck e Schumacher (2000) ao estudar diferentes povoamentos de *Eucalyptus* spp., encontraram 4,05; 5,98; 11,80 e 12,28 Mg ha<sup>-1</sup>, para as idades de 2, 4, 6 e 8 anos, respectivamente.

Vários fatores podem influenciar nas diferenças entre a serapilheira acumulada no presente estudo com outros tipos de floresta, porque o acúmulo de serapilheira sobre o solo tende a variar de acordo com o crescimento das árvores no sítio. Porém, tal aspecto pode ser variável de espécie para espécie, de híbrido para híbrido ou de clone para clone, também de acordo com as condições de solo e clima do local de plantio (Brun et al., 2013), bem como de acordo com as diferenças de sítios, idade, densidade de plantio, diferentes características genéticas de cada espécie e da estabilidade alcançada pelo povoamento (VIERA et al., 2010; CALDEIRA et al., 2008).

Além desses fatores, outros como: regime hídrico, sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como taxa de decomposição e distúrbios naturais como fogo e ataque de insetos ou artificiais como remoção da serapilheira e cultivos, ocorridos na floresta ou no povoamento, também influenciam no acúmulo de serapilheira.

Ainda O'Connell e Sankaran (1997), Wedderburn e Carter (1999), complementam que toda a dinâmica do material acumulado na superfície do solo é influenciada por fatores do

ambiente, temperatura e umidade; pela qualidade inicial do material formador como, por exemplo, pelos componentes orgânicos; pelos macro e micronutrientes; pelos organismos do solo, como fauna, actomicetos e bactérias entre outros.

Devido as maiores concentrações de N e Ca na serapilheira acumulada, esses nutrientes apresentaram as maiores contribuições nos diferentes materiais depositados sobre o solo, sendo que o somatório da quantidade destes macronutrientes representam 77,67% e 79,34% para o solo arenoso e argiloso, respectivamente, do total de macronutrientes contidos na serapilheira acumulada (Tabela 11).

Na quantificação de micronutrientes, destaca-se a soma do conteúdo de Mn e Fe, os quais representam 98% do total de micronutrientes presentes na serapilheira acumulada, sendo que o Fe foi o elemento que apresentou maior diferença entre os dois tipos de solo, com 10610,91 g ha<sup>-1</sup> (47,46%), a mais para o solo argiloso. Na Tabela 11 pode-se observar a quantidade de cada nutriente e sua contribuição relativa no estoque total de nutrientes em cada tipo de solo analisado.

Tabela 11 - Quantidade de macro e micronutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo.

| Solo | Total<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | kg ha <sup>-1</sup> |            |            |             |            |            | g ha <sup>-1</sup> |            |            |            |            |
|------|---------------------------------|---------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|
|      |                                 | N                   | P          | K          | Ca          | Mg         | S          | B                  | Cu         | Fe         | Mn         | Zn         |
| A    | 328,8                           | 144,3               | 5,6        | 23,1       | 90,1        | 28,8       | 11,9       | 191,1              | 123,1      | 11743      | 12781      | 268,6      |
|      |                                 | <i>43,9*</i>        | <i>1,7</i> | <i>7,0</i> | <i>27,4</i> | <i>8,7</i> | <i>3,6</i> | <i>0,1</i>         | <i>0,1</i> | <i>3,6</i> | <i>3,9</i> | <i>0,1</i> |
| B    | 457,8                           | 171,1               | 6,4        | 29,3       | 164,1       | 41,6       | 9,7        | 348,8              | 264,6      | 22354      | 12210      | 313,2      |
|      |                                 | <i>37,4</i>         | <i>1,4</i> | <i>6,4</i> | <i>35,9</i> | <i>9,1</i> | <i>2,1</i> | <i>0,1</i>         | <i>0,1</i> | <i>4,9</i> | <i>2,7</i> | <i>0,1</i> |

Onde: A = solo arenoso, B = solo argiloso. \*Valores em itálico indicam a contribuição percentual de cada nutriente no conteúdo total.

A magnitude da quantidade total de macronutrientes na serapilheira acumulada foi de N > Ca > Mg > K > S > P, em ambos os tipos de solo, já para os micronutrientes a magnitude de acúmulo foi de Mn > Fe > Zn > B > Cu para o solo arenoso; Fe > Mn > B > Zn > Cu para o solo argiloso.

Esta sequência encontrada nos macronutrientes é similar à mencionada por Cunha Neto (2013), onde o autor encontrou a mesma sequência deste estudo, ao quantificar a serapilheira acumulada sobre o solo em um povoamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus*

*urophylla* com 4,5 anos. Já Viera et al. (2013), encontrou valor semelhante havendo apenas a inversão entre as quantidades de N e Ca, o qual justifica uma maior quantidade de Ca devido um maior acúmulo deste macronutriente nos materiais lenhosos.

Contudo, Borém e Ramos (2002), justificam que o enriquecimento de cálcio na serapilheira acumulada, pode ser decorrente de uma liberação mais lenta deste elemento pelo material recém caído, da retranslocação de outros elementos antes da abscisão e/ou consequência da retenção de Ca contido na precipitação interna (chuva que atravessa o dossel) pela serapilheira acumulada.

Gonçalves e Benedetti (2005) ressaltam que as baixas quantidades de P encontrados em ambos os tipos de solo, podem ser explicadas pelo processo de retranslocação que é facilmente observado em folhas principalmente. Segundo os autores, em *Eucalyptus* spp., 70 a 80% do P pode ser retranslocado antes da queda das folhas. Já os valores na quantidade de K, são devido o fato de que este é um elemento altamente solúvel e, por isso, facilmente lixiviável tanto de órgãos vegetativos vivos quanto mortos (MENGEL e KIRKBY, 1987; JONES JUNIOR, 1977).

Para os micronutrientes, nota-se uma inversão nos valores encontrados entre os dois tipos de solo, sendo que em relação ao Fe, destaca-se um grande estoque no solo argiloso, que pode ser em decorrência da contaminação das amostras por solo, observado também por Viera et al. (2010). Segundo os autores, a contaminação da serapilheira poderia ser causada pela aderência do solo aos resíduos vegetais, sendo de difícil separação (mesmo com a limpeza), em razão da presença de resíduos vegetais em avançado processo de decomposição.

Ainda, as quantidades dos nutrientes encontrados na serapilheira acumulada, estão associadas com os principais materiais vegetais que as compõem. Desse modo, os nutrientes de menor mobilidade na planta, como B e Zn, apresentam elevado acúmulo (PORTES, et al., 1996).

Portanto, efetuando-se o somatório de todos os nutrientes da serapilheira acumulada, constata-se que ela contém, aproximadamente, 328,76 kg ha<sup>-1</sup> e 457,77 kg ha<sup>-1</sup> de nutrientes, respectivamente, para o solo arenoso e argiloso, demonstrando que o manejo adequado da mesma, pode influenciar nas produtividades futuras, contribuindo para o aumento da fertilidade do solo por meio da decomposição desses materiais vegetais.

#### 4.6 Biomassa do Sub-bosque e nutrientes

O sub-bosque apresentou biomassa total de 1,08 Mg ha<sup>-1</sup> para o solo arenoso, sendo esta 18,52% superior ao solo argiloso, o qual apresentou uma biomassa total de 0,88 Mg ha<sup>-1</sup>. Se na fase inicial do povoamento o sub-bosque representa uma dificuldade de crescimento para a plantação, com o passar do tempo seus resultados podem tornar-se benéficos, isso devido sua elevada contribuição para a ciclagem de nutrientes, com a decomposição da sua biomassa e da retenção de alguns nutrientes que são lixiviados das árvores, como podemos observar nas Tabelas 12.

Tabela 12 - Biomassa e teores macro e micronutrientes no sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos de idade.

| Solo | Biom.<br>(t ha <sup>-1</sup> ) | g kg <sup>-1</sup> |             |             |             |             | mg kg <sup>-1</sup> |             |             |               |               |             |
|------|--------------------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------|
|      |                                | N                  | P           | K           | Ca          | Mg          | S                   | B           | Cu          | Fe            | Mn            | Zn          |
| A    | 1,08                           | 17,3               | 0,9         | 8,4         | 4,1         | 1,9         | 1,6                 | 16,2        | 9,9         | 737,6         | 518,9         | 25,9        |
|      |                                | <i>a</i>           | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>b</i>    | <i>b</i>            | <i>a</i>    | <i>b</i>    | <i>b</i>      | <i>b</i>      | <i>a</i>    |
|      |                                | <i>±0,9</i>        | <i>±0,1</i> | <i>±2,9</i> | <i>±1,5</i> | <i>±0,4</i> | <i>±0,1</i>         | <i>±3,5</i> | <i>±1,7</i> | <i>±195,9</i> | <i>±110,3</i> | <i>±5,1</i> |
| B    | 0,88                           | 19,4               | 0,9         | 9,4         | 3,9         | 2,7         | 2,3                 | 14,4        | 12,5        | 1562,8        | 846,6         | 23,5        |
|      |                                | <i>a</i>           | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>            | <i>a</i>    | <i>a</i>    | <i>a</i>      | <i>a</i>      | <i>a</i>    |
|      |                                | <i>±1,8</i>        | <i>±0,1</i> | <i>±0,4</i> | <i>±0,5</i> | <i>±0,3</i> | <i>±0,2</i>         | <i>±1,4</i> | <i>±1,8</i> | <i>±223,4</i> | <i>±53,8</i>  | <i>±3,7</i> |

Onde: A = solo arenoso; B = solo argiloso. Valores em itálico indicam o desvio padrão de cada nutriente. Letras diferentes em itálico na vertical indicam diferenças significativas entre os tipos de solo, ao nível de 0,05 de significância, pelo teste de Tukey.

Viera (2012), ao quantificar a biomassa e nutrientes do sub-bosque em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* aos 10 anos de idade, encontrou biomassa superior ao encontrada neste estudo, sendo esta de 2,9 Mg ha<sup>-1</sup>. Segundo Zhang et al. (2012), o acúmulo da biomassa do sub-bosque aumenta com a idade dos povoamentos de eucalipto, sendo que em seu estudo o autor encontrou um aumento significativo, atingindo 3,05, 7,28 e 8,82 Mg ha<sup>-1</sup> para as três classes de idade de *Eucalyptus* observadas. Porém sua contribuição relativa caiu com a idade de 60,4% para 47,9% e 42,1%, respectivamente, em cada povoamento.

Fatores como a densidade das copas (CALEGARIO et al., 1993); abertura do dossel, condições edáficas favoráveis (RAJVANSHI et al., 1983), densidade do talhão (HARRINGTON e EWEL, 1997; CARNEIRO, 2002), das condições de sítio e tipo de manejo, bem como da espécie plantada, idade do povoamento e vizinhança (ONOFRE et al., 2010), são alguns dos fatores que afetam na regeneração natural do sub-bosque em plantios de florestas comerciais. Além disso, outros fatores podem estar relacionados a uma maior escassez desta vegetação, sendo estes: a baixa luminosidade, efeitos alelopáticos, espessura da manta orgânica e a concorrência por água e nutrientes com o desenvolvimento da plantação florestal (REZENDE et al., 1994).

Entretanto, de acordo com Pitelli e Karan (1988), quanto maior for à densidade do povoamento florestal, menor será a quantidade de indivíduos no sub-bosque que disputam os mesmos recursos do meio, isso, devido a uma menor incidência de luminosidade e penetração da água da chuva, que chega até a classe inferior do povoamento e, portanto, evitando o crescimento de novos indivíduos (sub-bosque), conforme foi observado no solo argiloso para o presente estudo.

Além disso, Schumacher et al. (2001); Brockerhoff et al. (2008); Runkle et al. (1995), salientam que após o primeiro ano de um povoamento, o estabelecimento da copa do eucalipto faz com que o sombreamento restrinja o desenvolvimento da vegetação de sub-bosque, porém com o aumento da idade do povoamento, vão se formando clareiras criadas por quedas de árvores e alterações na estrutura de indivíduos, permitindo a entrada de luz, estimulando assim o desenvolvimento do sub-bosque.

A escolha da espécie a ser plantada é portanto, um fator importante nas atividades de controle do sub-bosque, por reduzir ou aumentar a área sombreada e proporcionar um fechamento acelerado ou tardio das copas das árvores o que afetará o desenvolvimento de todo o povoamento. Justifica-se ainda a importância do sub-bosque, devido a sua influencia no fluxo de energia, no fornecimento de habitat para fauna e controle de parte do microclima da floresta (MACLEAN e WEIN, 1977).

A quantidade de macronutrientes seguiu em ordem decrescente de:  $N > Ca > Mg > K > S > P$  e para os micronutrientes a ordem de contribuição decrescente foi:  $Fe > Mn > Zn > B > Cu$ , tanto para o solo arenoso como para o solo argiloso conforme mostra a Tabela 13.

Valores elevados de K são devido ao fato de que o sub-bosque retém grande parte do potássio que é lixiviado das copas das árvores, evitando desta forma a perda para fora do sítio. Com isso, fica evidente que principalmente para áreas onde o solo apresenta limitações quanto ao fornecimento de nutrientes, como é o caso do presente estudo, o total acumulado no

sub-bosque, deve ser considerado, de forma a influir diretamente no balanço nutricional do sítio.

Tabela 13 - Quantidade de macro e micronutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* aos 7 anos de idade em diferentes tipos de solo.

| Solo | Total<br>(kg ha <sup>-1</sup> ) | kg ha <sup>-1</sup> |            |             |             |            |            | g ha <sup>-1</sup> |            |            |            |            |
|------|---------------------------------|---------------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|
|      |                                 | N                   | P          | K           | Ca          | Mg         | S          | B                  | Cu         | Fe         | Mn         | Zn         |
| A    | 37,96                           | 18,3                | 1,0        | 9,2         | 4,4         | 2,0        | 1,7        | 17,8               | 10,2       | 796,5      | 560,6      | 28,5       |
|      |                                 | <i>48,1*</i>        | <i>2,6</i> | <i>24,2</i> | <i>11,6</i> | <i>5,2</i> | <i>4,5</i> | <i>0,1</i>         | <i>0,1</i> | <i>2,1</i> | <i>1,5</i> | <i>0,1</i> |
| B    | 36,71                           | 17,8                | 0,8        | 8,3         | 3,2         | 2,3        | 2,1        | 12,8               | 10,4       | 1375,8     | 744,7      | 21,0       |
|      |                                 | <i>48,5</i>         | <i>2,2</i> | <i>22,6</i> | <i>8,7</i>  | <i>6,4</i> | <i>5,7</i> | <i>0,0</i>         | <i>0,0</i> | <i>3,7</i> | <i>2,0</i> | <i>0,1</i> |

Onde: A = solo arenoso, B = solo argiloso. \*Valores em itálico indicam a contribuição percentual de cada nutriente no conteúdo total.

Os micronutrientes Fe e Mn contribuem com mais de 90% do total de micronutrientes que retornam para o piso florestal, em ambos os tipos de solo estudados. O valor total de nutrientes para o sub-bosque no solo A foi de 37,96 kg ha<sup>-1</sup> e 36,71 kg ha<sup>-1</sup> para o sub-bosque no solo B, sendo que o retorno dos nutrientes absorvidos pela vegetação do sub – bosque ocorre através da deposição da serapilheira, aonde estes nutrientes são então liberados para o solo, nos processos de decomposição e mineralização.

Sendo assim, a capacidade de regeneração natural de espécies nativas em situações de competição com árvores em plantios florestais pode ser considerada um fator de grande valor para a manutenção do sítio, visto que, não só estaria mantendo o aumento da ciclagem de nutrientes com diferentes espécies, como também estaria propiciando melhores condições do solo, mantendo a matéria orgânica e conseqüentemente, assegurando melhores condições para o desenvolvimento de microorganismos decompositores.

#### 4.7 Balanço de nutrientes no sistema solo - planta

Analisar e quantificar a distribuição dos nutrientes em cada compartimento das árvores, bem como, do sub-bosque e serapilheira acumulada (Figura 10 e 11), são de

fundamental importância para a nutrição de povoamentos florestais manejados em rotações sucessivas, como é caso do híbrido em estudo, pois o tipo de manejo usado para conduzir o povoamento pode aumentar significativamente a produção de biomassa, e conseqüentemente se não bem manejado, poderá aumentar também a exportação de nutrientes do sítio, o que poderá comprometer os próximos ciclos ou povoamentos implantados neste sítio.

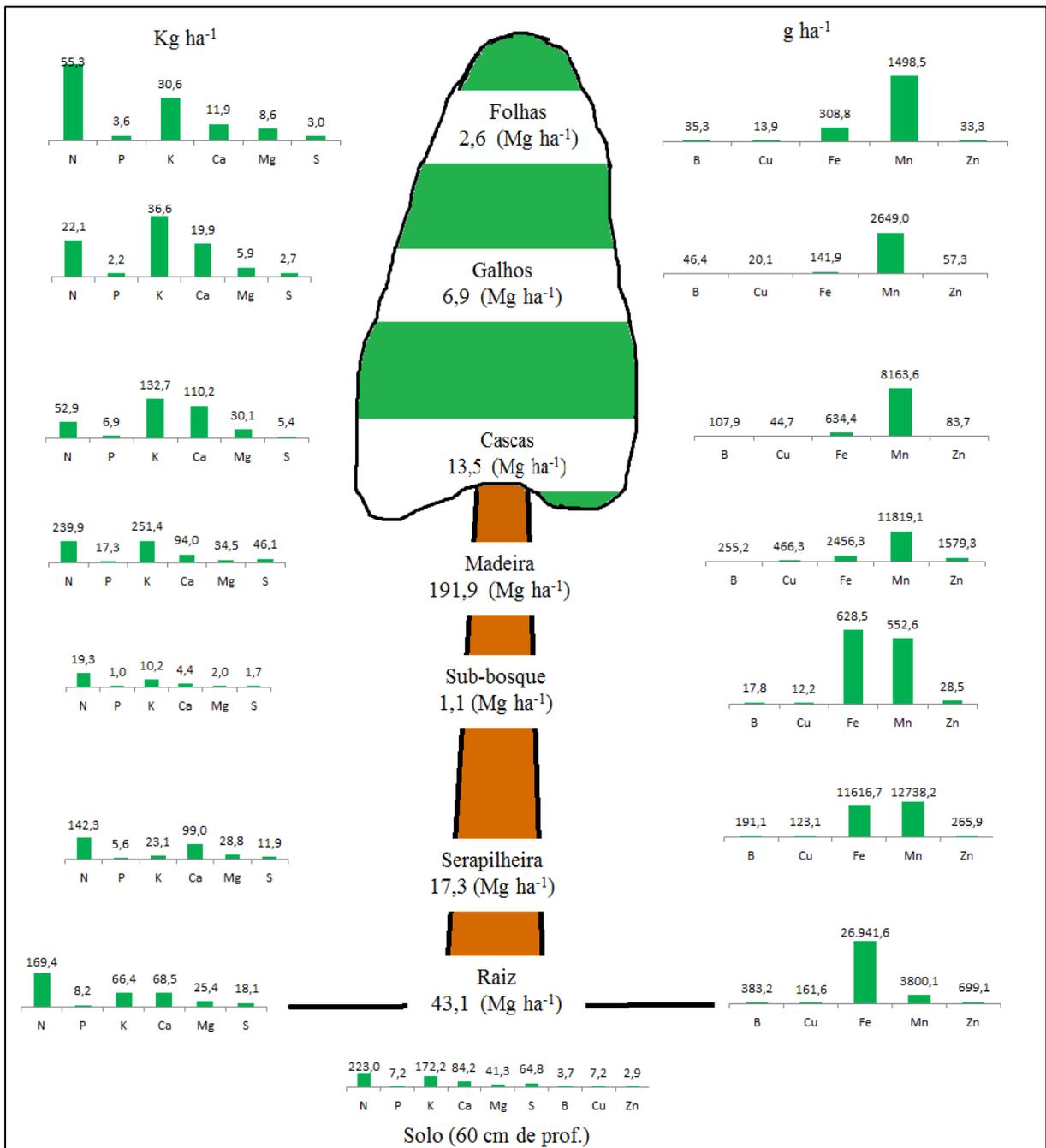


Figura 10 - Estoque de nutrientes disponíveis no solo e totais nos diferentes componentes da biomassa, sub-bosque e serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* em solo arenoso, aos 7 anos de idade.

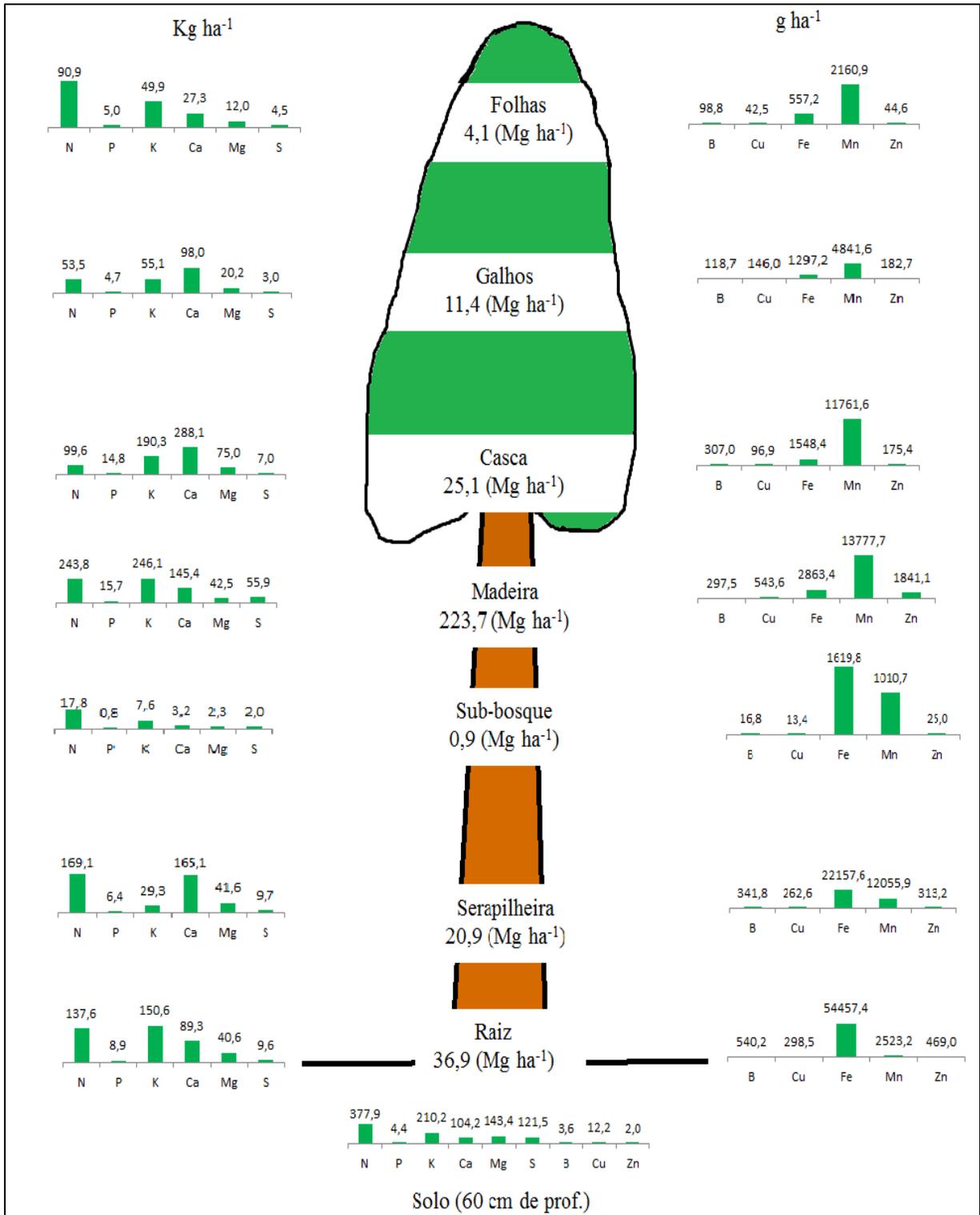


Figura 11 - Estoque de nutrientes disponíveis no solo e totais nos diferentes componentes da biomassa, sub-bosque e serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* em solo argiloso, aos 7 anos de idade.

Com base na análise das figuras 10 e 11, podemos observar que dentre os constituintes da biomassa arbórea, o componente folha apresenta a menor biomassa total, para ambos os

solos, porém apresenta elevado estoque de nitrogênio e manganês. Além disso, dentro todos os constituintes do sítio estudado nos dois tipos de solo, o sub-bosque apresentou a menor biomassa, e também elevadas quantidades totais de nitrogênio e principalmente ferro.

Diante desta distribuição de biomassa e nutrientes em cada componente das árvores, podemos então estabelecer quais critérios devem ser considerados durante o desenvolvimento do povoamento e a colheita, pois estas informações nos possibilitarão a manutenção futura do sítio.

#### 4.8 Simulação de colheita com base em diferentes intensidades

Nas Figuras 12 e 13, podemos observar a exportação relativa de nutrientes em função das diferentes intensidades de colheita em um povoamento de *Eucalyptus urograndis*. No sistema de colheita da árvore inteira, é removido toda a madeira com casca e a ponteira, sendo este, na maioria das vezes aderido pelas grandes empresas, uma vez que, neste sistema de colheita, o aproveitamento da casca e da ponteira é destinado como fonte energética e a madeira para produção de celulose.

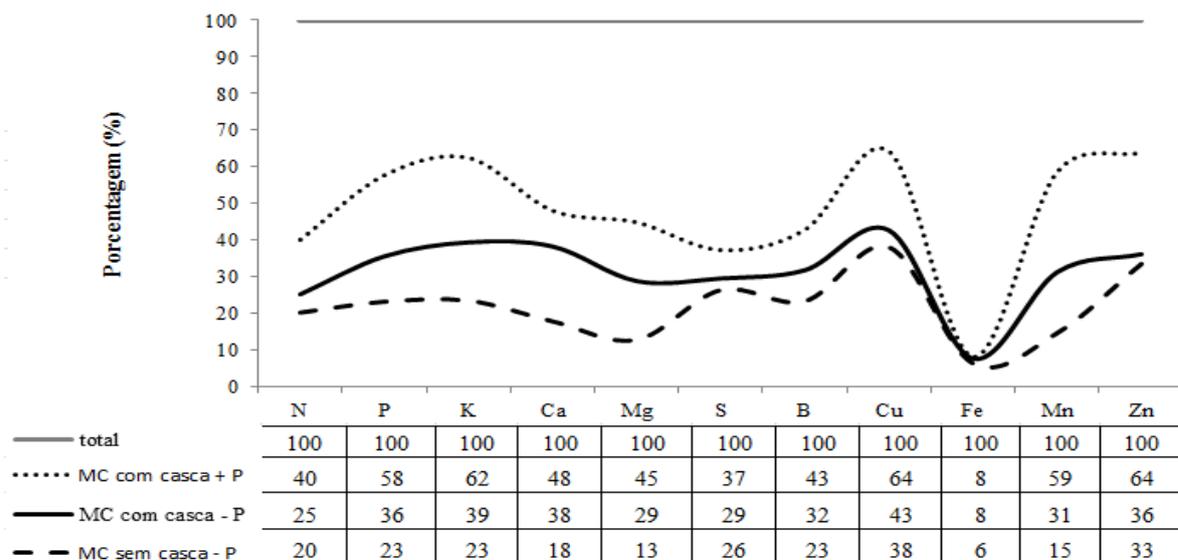


Figura 12 - Percentagens de exportação de nutrientes em diferentes intensidades de colheita florestal em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* em solo arenoso, aos 7 anos de idade. Onde: total = quantidade total de nutrientes estocados na biomassa do eucalipto + sub-bosque + serapilheira + estoque total disponível no solo; MC sem casca - P = madeira comercial sem casca - ponteira; MC com casca - P = madeira comercial com casca + ponteira; MC com casca + P = madeira comercial com casca + ponteira.

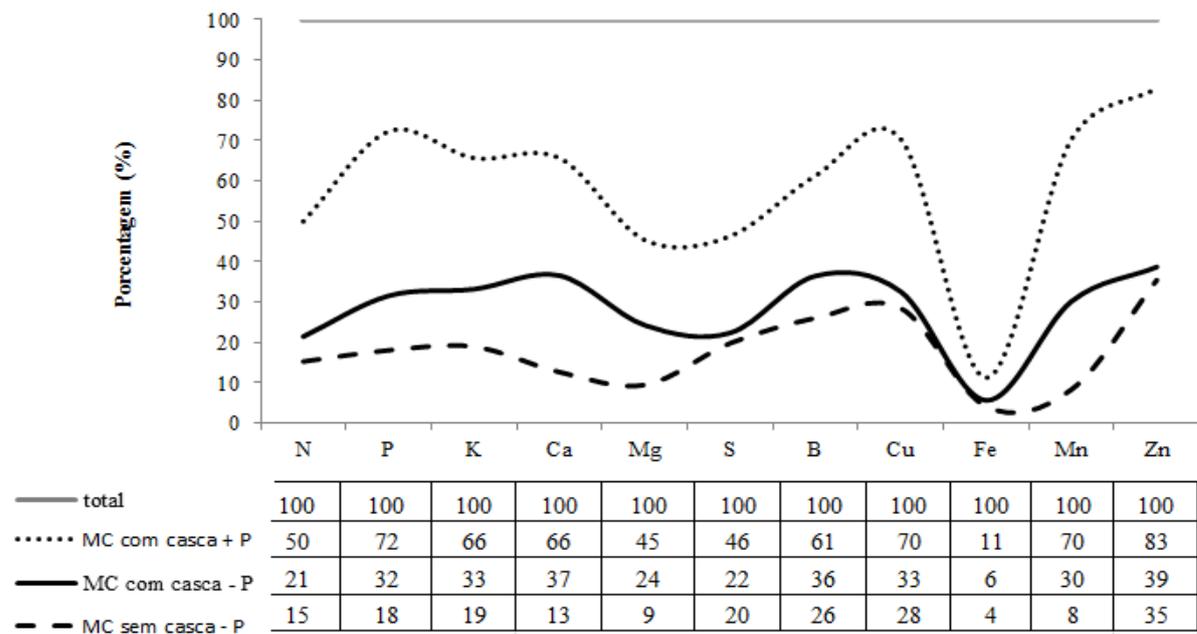


Figura 13 - Percentagens de exportação de nutrientes em diferentes intensidades de colheita florestal em um povoamento de *Eucalyptus urograndis* em solo argiloso, aos 7 anos de idade. Onde: total = quantidade total de nutrientes estocados na biomassa do eucalipto + sub-bosque + serapilheira + estoque total disponível no solo; MC sem casca - P = madeira comercial sem casca - ponteira; MC com casca - P = madeira comercial com casca + ponteira; MC com casca + P = madeira comercial com casca + ponteira.

Quando considerado o sistema de colheita da árvore inteira, e deixando as raízes, sub-bosque e serapilheira a remoção de nutrientes seria superior a 50% do total contido no sítio arenoso, para P e K, e superior a 40% para Ca, Mg e N. Quando analisado os micronutrientes, principalmente Cu e Zu, também estariam exportando mais de 60% do total encontrado no sítio em solo arenoso.

Porém, para o sítio em solo argiloso, a análise do sistema de colheita da árvore inteira, indica uma remoção de K e Ca de 66% para ambos os macronutrientes. Já a remoção de P seria superior a 70%, enquanto que para N, Mg e S seria inferior a 50%. Para os micronutrientes, destacou-se com maior exportação o Zn, o qual indicou ser superior a 80%, seguido em ordem decrescente por Cu e Mn, ambos com 70% e B com 61% do total encontrado no sítio.

No segundo sistema de colheita simulado no sítio arenoso, onde aconteceria a colheita da madeira comercial com casca (diâmetro mínimo de 8 cm), e deixado no sítio a ponteira + raízes + serapilheira + sub-bosque, a remoção de nutrientes chegaria a 39% para K, 38% para Ca e 36% para P, ocasionando assim uma queda de 23, 10 e 22% respectivamente, em relação ao sistema de colheita anterior. Contudo, para N, Mg e S o total exportado seria de 25, 29 e 29

%, respectivamente para cada macronutriente. Avaliando os micronutrientes, somente o Cu teria uma exportação acima de 40%, B, Mn e Zn seria superior a 30% enquanto que para os demais micronutrientes a remoção seria inferior a esta, no solo arenoso.

Para o solo argiloso, teríamos a maior exportação para o macronutriente Ca, sendo esta de 37%, já para os demais macronutrientes a exportação seria inferior ao exportado pelo Ca, chegando a apenas 21% para o N. Na análise dos micronutrientes, o que apresentaria uma maior remoção seria o Zn com 39% e B com 36%.

No terceiro sistema de colheita simulado pelo presente estudo em ambos os solo, seria removida pela colheita, somente a madeira comercial, deixando portanto todos os demais constituintes analisados no sítio. Neste sistema, em solo arenoso a remoção não seria superior a 26% para S e inferior a isso para os demais macronutrientes; ainda, seria máxima de 38% para Cu e inferior a ela para os demais micronutrientes. No entanto, para o solo argiloso a remoção máxima de macronutrientes seria de 20% para S e mínima de 9% para Mg. Já, para os micronutrientes, a máxima remoção seria de 35% para Zn.

Mesmo que houve contaminação por Fe para o componente serapilheira, o total exportado seria inferior a 10% para este micronutriente em todos os sistemas de colheita simulados em ambos os tipos de solo.

Além disso, no primeiro sistema de colheita o total de nutrientes exportados do sítio seria de 48% e 57% para o solo arenoso e argiloso, respectivamente, reduzindo para 32% no solo arenoso e 28% no solo argiloso para o segundo sistema de colheita e chegando a apenas 20% no solo arenoso e 15% no solo argiloso no terceiro sistema de colheita, ocorrendo uma redução de 28% e 42%, respectivamente para cada tipo de solo analisado, ficando assim evidente que o sistema de colheita onde ocorre apenas a retirada da madeira do sítio é o mais indicado, sendo este o mais sustentável para o sítio e o que poderá garantir as melhores condições nutricionais para as próximas rotações.

Com isso, observou-se que foi com a colheita de biomassa onde ocorrem as maiores remoções de nutrientes do sítio. Segundo Witschoreck (2008), parte desses nutrientes pode ser reposta através da aplicação de fertilizantes, mas, além dos aspectos econômicos e ecológicos da utilização desse tipo de insumo, dificilmente se dá em mesmo nível em termos quantitativos e principalmente qualitativos, restringindo-se, na maior parte dos casos, à tríade de elementos NPK.

#### 4.9 Coeficiente de utilização biológica

Para a produção de todos os componentes da biomassa os elementos P e Mg, são os macronutrientes mais eficientemente utilizados em ambos os tipos de solo analisados (Tabela 14). O coeficiente de utilização biológica para o componente madeira decresceu na seguinte ordem: P > Mg > S > Ca > N > K para o solo A e B. Sendo semelhante a ordem encontrada por Melo et al. (1995), para *Eucalyptus saligna* em oito sítios diferentes, onde os autores observaram a magnitude média de P > Mg > Ca > K e a encontrada por Ataíde et al. (2013) em plantios de *Eucalyptus urograndis*, sendo esta de: P > Mg > Ca > N > K.

Porém, Faria (2008), encontrou valores inversos para híbridos interespecíficos de *Eucalyptus* spp. no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais: P > Mg > K > N > Ca, da mesma forma como Beulch (2013) com *E. saligna*, S > P > Mg > Ca > N > K e Guimarães (2014) com *E. urograndis*, *E. grandis* e *E. dunnii*, onde o autor observou uma magnitude média de: P > Mg > Ca > S > N > K.

Tabela 14 - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes para um povoamento de *Eucalyptus urograndis* com 7 anos de idade em diferentes tipos de solo.

| Solo | Comp. | Macronutrientes |       |     |      |      |      | Micronutrientes |        |       |       |        |
|------|-------|-----------------|-------|-----|------|------|------|-----------------|--------|-------|-------|--------|
|      |       | N               | P     | K   | Ca   | Mg   | S    | B               | Cu     | Fe    | Mn    | Zn     |
| *A   | F     | 47              | 725   | 85  | 218  | 303  | 855  | 73638           | 186916 | 8419  | 1735  | 78186  |
|      | G     | 313             | 3125  | 189 | 346  | 1176 | 2564 | 148810          | 342466 | 48614 | 2605  | 120482 |
|      | C     | 255             | 1961  | 102 | 123  | 448  | 2500 | 125156          | 302115 | 21281 | 1654  | 161290 |
|      | M     | 800             | 11111 | 763 | 2041 | 5556 | 4167 | 751880          | 411523 | 78125 | 16236 | 121507 |
|      | R     | 254             | 5263  | 649 | 629  | 1695 | 2381 | 112486          | 266667 | 1536  | 11342 | 61652  |
| *B   | F     | 45              | 826   | 82  | 150  | 341  | 909  | 41494           | 96432  | 7358  | 1897  | 91827  |
|      | G     | 213             | 2439  | 207 | 116  | 565  | 3846 | 96061           | 78064  | 8788  | 2355  | 62383  |
|      | C     | 252             | 1695  | 132 | 87   | 334  | 3571 | 81766           | 259067 | 16210 | 2134  | 143062 |
|      | M     | 917             | 14286 | 909 | 1538 | 5263 | 4000 | 750671          | 411213 | 78134 | 16236 | 121510 |
|      | R     | 268             | 4167  | 245 | 413  | 909  | 3846 | 68306           | 123609 | 678   | 14624 | 78678  |

Onde \*A = solo arenoso e \*B = solo argiloso; Comp. = componentes da biomassa arbórea.

O coeficiente de utilização biológica corresponde à taxa de conversão de nutrientes em biomassa. Esse valor demonstra quantas unidades de biomassa são formadas por unidade de nutriente, e quanto maior o valor, mais eficiente será a conversão dos nutrientes em biomassa

(WITSCHORECK, 2008), podendo então desta forma potencializar a produtividade de madeira, sendo assim, o CUB é um dos parâmetros fundamentais para a definição das melhores técnicas de manejo e conseqüentemente para a manutenção da capacidade produtiva do sítio florestal (SANTANA et al., 2002).

Em relação, ao componente galhos o maior coeficiente de utilização de macronutriente foi fósforo para o solo arenoso e enxofre no solo argiloso; o menor foi potássio e cálcio para os respectivos tipos de solo. Já em relação ao componente casca, em ambos os tipos de solo o maior CUB foi de enxofre, mas o menor foi potássio para o solo arenoso e cálcio para o solo argiloso. Analisando ainda, o componente folhas o macronutriente mais eficientemente utilizado foi do enxofre e o menor foi nitrogênio para ambos os tipos de solo. Em relação à análise das raízes, foi encontrado como maior CUB o fósforo e o menor o nitrogênio para o solo arenoso e o potássio, para o solo argiloso.

De modo geral, ao avaliar os CUB para os micronutrientes, destacou-se como mais eficientemente utilizado o cobre, nos componentes casca, galhos e raízes para o solo A, sendo também o mais encontrado nas folhas, casca, e raízes para o solo B. Já o micronutriente com o menor CUB foi o Mn em ambos os tipos de solo para todos os componentes folhas, galhos, casca e madeira, exceto para as raízes, sendo que neste constituinte da biomassa arbórea, o Fe foi encontrado como menor CUB tanto no solo arenoso como argiloso.

Caldeira et al. (2002), comentam que uma espécie do ponto de vista nutricional é aquela capaz de sintetizar o máximo de biomassa por nutriente absorvido, sendo assim, quanto menor for a quantidade de nutriente acumulado no componente arbóreo, maiores serão os valores dos CUB (MOURA et al., 2006), e conseqüentemente menor poderá ser a exportação de nutrientes (ZAIA e GAMA-RODRIGUES, 2004).

Contudo, Caradus (1992) salienta que o baixo teor de nutriente nos tecidos vegetais ou uma elevada eficiência de utilização de nutrientes podem estar associados a ineficiências, como a baixa translocação das raízes para a parte aérea, ou refletirem uma deficiência nutricional. Além disso, Santana et al. (2002), salientam que esta eficiência de utilização de nutrientes pode estar vinculada às características de cada espécie, e às relações hídricas, sendo que o não equilíbrio nutricional entre o sistema solo - planta poderá causar uma limitação ou excesso de um ou mais nutrientes disponíveis (SANTANA et al. 2002).

## 5. CONCLUSÕES

Os baixos teores de nutrientes encontrados em ambos os solos, indicaram ser solos de baixa produtividade e representaram conseqüentemente um baixo estoque total de nutrientes disponíveis para as plantas, o que poderá afetar a produtividade em ambos os tipos de solo.

O solo argiloso apresentou maior produção de biomassa arbórea, com 301,21 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo que o solo arenoso apresentou uma biomassa de apenas 257,99 Mg ha<sup>-1</sup>. Todos os compartimentos constituintes da biomassa tiveram maior ocorrência no solo argiloso, exceto, o compartimento raiz, o qual demonstrou maior representatividade no solo arenoso.

Os maiores teores de Ca foram encontrados no componente casca, ferro no componente raiz e os demais nutrientes foram encontrados com maiores teores no componente folhas. O maior estoque de nutrientes na biomassa arbórea foi encontrado no solo argiloso.

A biomassa acumulada no sub-bosque no solo argiloso foi superior à acumulada no sub-bosque do solo arenoso, com valores respectivos de 1,08 Mg ha<sup>-1</sup> e 0,88 Mg ha<sup>-1</sup>, da mesma forma como a quantidade de nutrientes acumulada, com 39,78 kg ha<sup>-1</sup> e 56,46 kg ha<sup>-1</sup>.

A serapilheira acumulada foi superior no solo argiloso com 20,93 Mg ha<sup>-1</sup>, sendo inferior no solo arenoso que obteve 17,35 Mg ha<sup>-1</sup>. O total de nutrientes presente na serapilheira acumulada foi de 328,8 kg ha<sup>-1</sup> para o solo argiloso e 457,8 kg ha<sup>-1</sup> para o solo arenoso.

O sistema de colheita onde ocorre apenas a retirada da madeira do sítio (terceiro cenário de intensidade de colheita) é o mais indicado, sendo este o mais sustentável para o sítio e o que poderá garantir as melhores condições nutricionais para as próximas rotações.

Os elementos P, Mg e Cu, são os nutrientes mais eficientemente utilizados em ambos os tipos de solo, já o nutriente que apresentou menor eficiência foi o Mn, em ambos os tipos de solo, para todos os compartimentos, exceto para as raízes que apresentou o Fe com menor CUB tanto no solo arenoso como no solo argiloso.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Para contribuir com a melhoria das características físicas e químicas do solo, bem como, com a sustentabilidade dos povoamentos, com base nos resultados encontrados neste estudo, recomenda-se que seja adotado como sistema de colheita o terceiro cenário, onde apenas a madeira comercial seja removida do local, deixando a casca e a ponteira, pois assim, a exportação de nutrientes ocorrerá em menores quantidades e irá manter um maior equilíbrio nutricional.

Além disso, a casca do tronco, folhas, galhos e madeira da ponteira, juntamente com a serapilheira acumulada e o sub-bosque ao permanecer no local, ajudarão a manter os nutrientes e as condições físicas do solo, evitando possíveis erosões. Estes componentes devem ser distribuídos uniformemente na superfície do solo, como uma medida efetiva na redução do impacto nutricional da colheita florestal.

Outra recomendação refere-se ao diâmetro mínimo para colheita da madeira que esta sendo utilizado pela empresa (8 cm), sendo portanto, sugerido que este torne-se maior, o que conseqüentemente irá aumentar a quantidade de nutrientes que irá permanecer no sítio, devido a menor exportação com a colheita, e de modo algum este diâmetro seja reduzido, pois a redução irá implicar em uma maior exportação e conseqüentemente implicações nutricionais e na sustentabilidade do sítio.

Ainda, são indicados estudos mais completos e em outros plantios e até mesmo em espécie diferentes usadas pela empresa, para avaliar os possíveis danos causados pela retirada dos resíduos, envolvendo processos de ciclagem de nutrientes, bem como o monitoramento das características químicas do solo antes e após a colheita além de avaliar as recomendações de adubações, visto que, estas poderão ser elaboradas de acordo com as exigências nutricionais de cada espécie, indicando uma redução nos custos com fertilização e ganhos em produtividade.

E ainda, a escolha de espécies para serem cultivadas, devem levar em consideração além da produtividade fatores como uma maior eficiência nutricional e menores taxas de remoção de nutrientes em cada compartimento removido do sítio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico ABRAF 2013: ano base 2012**. Brasília: ABRAF, 2013. p. 74.

ABRAHAMSON, W. G.; GADGIL, M. Growth and reproductive affect in goldenrods solidago (Compositae). **American Naturalist**, v. 107, p. 651- 661, 1973.

ALVES, M. C; A. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de Eucalipto, no Pólo Gesseiro do Araripe – PE**. 2007. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

ALBERSHEIN, P. Concerning the structure and biosynthesis of the primary walls of plants. **Int. Ver. Biochemistry**. v. 16, p. 127 – 150, 1978.

ANEEL – AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. 2014. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/ OperacaoCapacidadeBrasil.asp](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.asp)>. Acesso em: 14/05/2014.

ANDRADE, G. C. et al. Acúmulo de Nutrientes na Biomassa e na Serapilheira de *Eucalyptus grandis* em Função da Aplicação de Lixo Urbano e de Nutrientes Minerais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 53, p. 109-136 jul./dez. 2006.

ANDRAE, F. H.; KRAPPENBAUER, A. Inventário de um reflorestamento de Araucária de 17 anos em Passo Fundo, RS. Parte I: Inventário de Biomassa. In: (Eds). **Pesquisa Austro-Brasileira 1973- 1982 sobre Araucaria angustifolia, Podocarpus lambertii e Eucalyptus saligna**. Santa Maria, Brasil/ Viena-Áustria: Universidade Federal de Santa Maria/ Universitaet fuer Bodenkultur, 1983. p. 16-29.

BARBER, S. A. **Soil nutrient bioavaliability: a mechanistic approach**. New York: J. Willey, 1995, 414 p.

BARICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. Quantificação da biomassa em um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 129-135.2005.

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

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V.V.H.; et al. eds. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Folha de Viçosa, 2002. v.2. p.487-592

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Solos e nutrição florestal: Contribuição para a silvicultura brasileira. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto – SP. p. 26. mar/mai, 2010.

BATAGLIA, O. C. DECHEN, A. R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. 1986, Campinas. **Anais...**Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 115 – 135.

BELLOTE, A. F. J. et al. **Extração e exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 1 – Macronutrientes.** Piracicaba, IPEF, 20: 1 – 23, 1980.

BELLOTE, A. F. J. et al. 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.

BENATTI, B.P. **Compartimentalização de biomassa e nutrientes em estruturas de plantas de eucalipto cultivadas em solos distintos.** 2013. 114 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

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

BORÉM, R. A. T.; RAMOS, D. P. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de Mata Atlântica. **Cerne**, v. 8, n. 2, p. 042-059, 2002.

BOWEN, B. D.; NAMBIAR, E. K. S. **Nutrition of plantation forests.** London, Academic Press, 1984. 516 p.

BRAGA, J. L. P. **Estabilidade fenotípica de clone de *Eucalyptus urograndis* , na Fazenda Bom Jardim, Aparecida – SP.** 2008. 27 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

BREMNER, J. M. Organic nitrogen in soils. In: BARTHOLOMEW, W. V; CLARK, F. E. (Ed) Soil Nitrogen. **Am. Soc of Agron.**, 1965, p. 1179-1237.

BROCKERHOFF, E. G. et al. Plantation forests and biodiversity: oxymoron or opportunity? **Biod. Cons.**, v.17, p.925–951, 2008.

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

BRUN, E. J. et al. Relação entre o acúmulo de serapilheira sobre o solo e variáveis dendrométricas em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, em Eldorado do Sul/RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.1, n.1, p.24-31, jan./abr., 2013.

CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild).** 1998. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1998.

CALDEIRA, M.V.W. et al. Quantificação da biomassa acima do solo de *Acacia mearnsii* De Wild., procedência Batemans Bay- Austrália. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.11, n. 2, p.79-91, 2001.

CALDEIRA, M. V. W. et al. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 5, p. 615-620, 2002.

CALDEIRA, M.V.W. et al. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v.29, n.1, p.53-68, 2008.

CALEGARIO, N. et al. Parâmetros florísticos e fitossociológicos da regeneração natural de espécies arbóreas nativas no sub-bosque de povoamentos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.17, n.1, p.16-29, 1993.

CARADUS, J. R. Heritability of, and relationships between phosphorus and nitrogen concentration in shoot, stolon and root of white clover (*Trifolium repens* L.). **Plant Soil**, Netherlands, v. 146, p. 209-217, 1992.

CARNEIRO, P.H.M. **Caracterização florística, estrutura e da dinâmica de regeneração de espécies nativas em um povoamento comercial de *Eucalyptus grandis* em Itatinga, SP.** 2002. 131p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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.

COSTA, L. M. **Manejo de solos em áreas florestais.** In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (eds.) **Relação solo eucalipto.** Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, 1990. cap. 6, p. 237-302.

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

CUNHA NETO, F. V. et al. Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 379-387, 2013.

EVANS, J. The effects of leaf position and leaf age in foliar analysis of *gmelia arborea*. **Plant and Soil**, v. 52. p. 547 – 552, 1979.

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**, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008.

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

FREITAS et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill Ex Maiden plantado em solo sujeito a arenização, no município de Alegrete - RS. **Biomassa e Energia**, Viçosa – MG, v.1, n.1, p.93-104, 2004.

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

GOMES, S. S. **Predição da disponibilidade de nitrogênio e potencial de resposta a fertilização nitrogenada em plantações de Eucalipto**. 2009. 81 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2009.

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

GONÇALVES, J. L. M.; 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.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP, 2005. p.221-267.

GONZALEZ, R. et al. Exploring the potential of Eucalyptus for energy production in the Southern United States: Financial analysis of delivered biomass. Part I. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 755–766, 2011.

GUIMARÃES, C. **Biomassa e nutrientes em plantios de Eucaliptos no bioma pampa**. 2014. 63 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

GUO, L. B. et al. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand: II. internal effects. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 34, n. 7, p. 913-922, July 2002.

GOUVÊA, C.F.; MORI, E.S.; BRASIL M.A.M.; VALLE,C.F.; BONINE, C.A.V. Seleção Fenotípica por padrão de proporção de casca rugosa persistente em árvores de *Eucalyptus urophylla* S.T Blake, visando formação de população base de melhoramento genético: qualidade da madeira. In: IUFRO CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALIPTS, Salvador, 1997. **Anais**. Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1997. v.1.p.355-360.

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

HARRINGTON, R.A.; EWEL, J.J. Invasibility of tree plantations by native and non-indigenous plant species in Hawaii. **Forest Ecology Management**, Amsterdam, v.99, p.153-162, 1997.

HARRISON, R. B. et al. Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 133, n. 3, p. 167–177, Aug. 2000.

JONES, Jr. E. P. Precommercial thinning of naturally seeded slash pine increases volume and monetary returns . USDA, **For. Sci. Res. Se.**, v. 164, p. 1 – 10, 1977.

KADEBA, O. Growth and nutrient accumulation by *Pinus caribaea* on tree savanna sites in northern Nigeria. **Agriculture, ecosystems and environment**, Amsterdam, v.49, n.2, p.139-147, 1994.

KIMMINS, J. P. **Identifying key processes affecting long-term site productivity-1994.**

KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1996. 432 p.

KOEHLER, C. W. et al. Deposição de resíduos orgânicos (serapilheira) e nutrientes em plantio de *Araucaria angustifolia* em função do sítio. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 89-94, jan.-dez. 1987.

KRAMER, R. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Kalouste Goulbenkian, 1972. 745.p.

LACLAU, J. P. et al, Dinâmica de biomassa e acúmulo de nutrientes em uma plantação clonal de *Eucalyptus* no Congo. **Forest Ecology and Management**, v.128, n.3, p.181-196, 2000.

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

LAMB, D. Variations in the foliar concentrations of macro and micro elements in a fast – growing tropical eucalypt. **Plant and Soil**. v. 45, p. 477 – 492, 1976.

LANDSBERG, J. J. **Physiological ecology of forest production**. London: Academic Press, 1986. 198p.

LEITE, F. P. et al. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-321, jul./ set. 1997.

LE TACON, F. Une methode originale de prelevements foliaires. **Revista Florestal Française**, XXI, v. 196. 1969.

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

LONDERO, E. K. et al. Exportação e reposição nutricional no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em área de segunda rotação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 487-497, jul.-set. 2011.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Interpretação de análise de solo: Conceito e Aplicações. **Boletim Técnico**, n. 2, 50 p. 2004.

LOPES, J. L. W. **Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos**. 171 p. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

LUZ, M. J. S., et al. Adubação e Correção do Solo: Procedimentos a serem adotados em função dos resultados da análise de solo. **Circular Técnica**, n.63, ed.1, 2002. 32 p.

MACLEAN, D. A.; WEIN, R. W. Changes in understory vegetation with increasing stand age in New Brunswick forests: species composition, cover, biomass and nutrients. **Can. J. Botany**, v. 55, p. 2818 – 2831, 1977.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. A Prática da calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1985, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.313-357.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2 ed. London: Academic Press, 1995. 889p.

MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação brasileira para a pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MELO, V.F. et al. **Balço 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, 48/49:8-17, 1995.

MELO, J. T.; RESCK, D. V. S. Retorno, ao solo, de nutrientes de serapilheira de Pinus no cerrado do Distrito Federal. In: BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO, 2003, Planaltina. **Anais...** Planaltina, Embrapa, 2005. p. 18.

MENDES, J. B. Mercado Florestal Brasileiro – Contexto e Tendências. **Nota Técnica**, Silviconsult, 2014.

MENGEL, K. Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. **Plant and Soil**, v. 181, p. 83-93, 1996.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of Plant Nutrition.** Bern, International Potash Institute, 1987. 687 p.

MILLER, H. G. Nutrient cycles in birchwoods. **Proceedings of the Royal Society of Edinburg**, v. 853, p. 83-96, 1984.

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

MONTANARI, R. et al., Níveis de resíduos de metalurgia e substrato na formação de mudas de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, Campina Grande, v.7, n.1, p.59-66, 2007.

MOREIRA, A. M. et al. **Sustentabilidade da produtividade de um povoamento de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis* com base na exportação e estoque de nutrientes.** Relatório Final. 60 f. 2009. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

MOURA, O. N. et al. Conteúdo de nutrientes na parte aérea e eficiência nutricional em *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, n. único, p. 23-29, 2006.

MORO, L. **Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema Sispinus.** 2005. 130 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

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

OLIVEIRA, S. A. de **Avaliação da mineralização e disponibilidade de nitrogênio para o trigo (*Triticum aestivum* L.) em solos do Distrito Federal**. 1987. 128 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo – Esalq. Piracicaba, 1987.

ONOFRE, F. F., et al. Regeneração natural de espécies da Mata Atlântica em sub-bosque de *Eucalyptus saligna* Smith. em uma antiga unidade de produção florestal no Parque das Neblinas, Bertioga, SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 39-52, mar. 2010.

O'CONNELL, A. M.; SANKARAN, K. V. Organic matter accretion, decomposition and mineralisation. In: NAMBIAR, E. K. S., BROWN, A. G. (Ed.) **Management of soil, nutrients and water in tropical plantations forests**. Canberra: ACIAR Australia/CSIRO, 1997. p. 443-480. (Monograph; n.43).

PALLARDY, S. **Physiology of woody plants**. San Diego: Academic Press, 2008. 454p.

PITELLI, R. A.; KARAM, D. Ecologia das plantas daninhas e suas interferências em culturas florestais. In: SEMINÁRIO TÉCNICO SOBRE PLANTAS DANINHAS E O USO DE HERBICIDAS EM REFLORESTAMENTO, 1. Rio de Janeiro, 1988. **Anais...** Rio de Janeiro, 1988. p.44-64.

POGGIANI, F. et al. Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 31, p. 33-44, abr., 1998.

POGGIANI, F. SCHUMACHER M. V. Ciclagem de nutrientes em Florestas Nativas. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (ed.) **Nutrição e Fertilização Florestal – Piracicaba – IPEF/SALQ – USP**. 2000. 427 p.

PORTES, M. C. G. O. et al. Variação sazonal de deposição de serapilheira em uma Floresta Ombrófila Densa Altomontana no morro do Anhagava- PR. **Floresta**, v.26, n.1/2, p.3-10, 1996.

PRITCHETT, W. L. **Suelos forestales: propiedad, conservación y mejoramiento**. México: Limusa Noriega, 1990. 634p.

PRITCHETT, W.L. **Properties and management of forest soils**. New York: John Wiley, 1979. 500 p.

RAJVANSHI, A. et al. A comparative study of undergrowth of sal forest and Eucalyptus plantation at Golatappar Dehra Dun during rainy season. **Indian Journal Agronomy**, New Delhi, v.6, p.117-119, 1983.

RECH, C. Eucalipto pesquisa amplia usos. **Revista da Madeira**. Edição especial. p. 10, 2003.

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

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (eds). **Relação solo eucalipto**. Viçosa: Ed. Folha de Viçosa, 1990. cap. 7, p. 265-302.

REZENDE, M. L. et al. Regeneração natural de espécies florestais nativas em sub-bosque de *Eucalyptus grandis* e mata secundária no município de Viçosa, Zona da Mata - MG, Brasil. In: SIMPÓSIO SUL - AMERICANO, 1., SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR. Curitiba: FUPEP, 1994. p. 409- 418.

RUNKLE, J. R. et al. Sapling diameter growth in gaps for two *Nothofagus* species in New Zealand. **Ecology**, n. 76, p. 2107 – 2117, 1995.

SAE/PR – Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República; UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. **Otimizagro: uma plataforma integrada de modelagem de uso e mudanças no uso da terra para o Brasil**. Brasília: SAE/PR: UFMG, 2013. Centro de Sensoriamento Remoto, p. 15.

SAE - secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Florestas Plantadas, bases para a política nacional. **Notas Técnicas**, Brasília, n. 1, jun. 2014.

SAIDELLES, F. L. F.; KONING, F. G.; SCHUMACHER, M. V. Avaliação da biomassa e dos nutrientes em espécies florestais de rápido crescimento. **1º Simpósio Brasileiro de Pós - Graduação em Engenharia Florestal**. 2001. Santa Maria. Anais Santa Maria: Imprensa Universitária, 2001.

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

SALVADOR, S. M. **Quantificação da biomassa e do estoque de nutrientes em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* em diferentes idades.** 2012. 41 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SANTANA, R. C. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**. n. 56, p. 155-169. Dez. 1999

SANTANA, R. C. et al. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457, jul.-ago. 2002.

SANTOS, J. C. et al. Nutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith em São Gabriel, RS. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.2, n.1, p.1-8, 2014.

SAS. **Statistical analysis system**: Programa de computador, ambiente VM. Cary, 1993. Versão 6.08.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Biosci. J.**, v. 23, n. 4, p. 29-39. 2007.

SERRA, D. D. **Avaliação da disponibilidade de nitrogênio para o milho (*Zea mays*) em solo do Distrito Federal.** 2006. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2006.

SIMEPAR – **Instituto Tecnológico do Paraná.** Curitiba, 2014. Acesso em: julho de 2014. Disponível em :< <http://www.simepar.br/>>.

SILVA, H. D.; POGGIANI, P.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 6/7, p. 9-25, Jun/Dez. 1983.

SCHLICH, W. **Manual of forestry: forest managment.** 5.ed. London: Bradbury, 1925. v.3, 383p.

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

SCHUMACHER, M.V. **Naehrstoffkreislauf in verschiedenen Bestaenden von *Eucalyptus saligna* (Smith), *Eucalyptus dunnii* (Maiden) und *Eucalyptus globulus* (Labillardière) in Rio Grande do Sul, Brasilien.** 1995. 167p. Tese (Doutorado em Ecologia e Nutrição Florestal) - Universität für Bodenkultur, Viena, 1995.

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

SCHUMACHER, M. V, et al. Retorno de Nutrientes via deposição de serapilheira em um povoamento de acácia – negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**. v. 27n. 6. p.791-798. Viçosa – MG. nov./dec. 2003.

SCHUMACHER, M. V; CALDEIRA, M. V. W. Quantificação de Biomassa em Povoamentos de *Eucalyptus saligna* Smith. Com diferentes idades. **Biomassa e energia**, v. 1, n. 4, p. 381-391, 2004.

SCHUMACHER et al. 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.

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

STAPE, J.L. Florestas plantadas: situação de cultivo, manejo e tendências. In: **Workshop on the sustainability of the brazilian pulp & paper industry**. São Paulo: Ministério das Relações Exteriores/BRACELPA, 1997. (Palestra).

STAPE, J. L. **Modelagem ecofisiológica**. Comunicação pessoal. 2006.

SWITZER, G. L.; NELSON, L. E. Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 36: 143-147, 1972.

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

TURNER, L. LAMBERT, M. J. Nutrient cycling within a 27 year – old *Eucalyptus grandis* plantation in New South Wales. **Forest Ecology and Management**, v. 6, p. 155 - 168, 1983.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V. Concentração e retranslocação de nutrientes em acículas de *Pinus taeda* L.. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 4, p. 375-382, out./dez. 2009.

VIERA, M. et al. Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 611-619, 2010.

VIERA, M. **Crescimento inicial e produtividade em plantios monoespecíficos e mistos de *Eucalyptus urograndis* e *Acacia mearnsii* em sistema agrossilvicultural**. 2010. 141p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; BONACINA, D. M. Biomassa e nutrientes removidos no primeiro desbaste de um povoamento de *Pinus taeda* L. em Cambará do Sul, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 371-379, maio-jun. 2011.

VIERA, M. **Dinâmica nutricional em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus***. 2012. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

VIERA, M. et al. Dinâmica de Decomposição e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* no Sul do Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 351 – 360, 2013.

VITTI, G. C.; OLIVEIRA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação brasileira para a pesquisa do Potássio e do Fósforo, 1997. 319 p. 2002.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Avaliação da devolução de serapilheira em uma floresta estacional decidual, em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 187-196, 2007.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na Região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 843-852, 2004.

ZHANG, H. et al. Armazenamento de biomassa e carbono em plantações de eucalipto e acácia no Delta do Rio das Pérolas, sul da China. **Forest Ecology and Management**, v.227, p. 90-97, 2012.

ZOTTL, H. W. TSCHINKEL, H. **Nutrición y Fertilization Florestal: una guia práctica.** Medellin, Universidad Nacional de Colombia, Dep. Recursos Forestales, 1971. 111 p.

WARING, R. H.; SCHLESINGER, W. H. **Forest ecosystems: concepts and management.** San Diego: Academic Press, 1985. 340 p.

WEDDERBURN, M. E.; CARTER, J. Litter decomposition by four functional tree types for use in silvopastoral systems. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 31, n. 1, p. 455-461, 1999.

WESTERMARK, U. Calcium promoted phenolic coupling by superoxide radical – a possible lignification reaction in wood. **Wood Science and Technology**. v. 16, p. 71 – 78, 1982.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V. Estimativa do carbono da serapilheira em florestas de eucalipto de diferentes idades. In: Congresso Florestal Estadual de Nova Prata, 8, 2000, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata: Prefeitura Municipal, 2000.

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 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

WOLKWEISS, S. J. Otimização das características da planta para maximizar a eficiência do adubo. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA. 1986, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Manah, 1986. p. 8-15.