UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

RODRIGO FIGUEIREDO ALMEIDA

Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre em plantio de *Eucalyptus grandis* sob diferentes manejos de resíduos florestais

Piracicaba
2017

RODRIGO FIGUEIREDO ALMEIDA

Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre em plantio de *Eucalyptus grandis* sob diferentes manejos de resíduos florestais

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente

Orientador: Profa. Dra. Marisa de Cássia Piccolo

Piracicaba

2017

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Almeida, Rodrigo Figueiredo
Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre em plantio de *Eucalyptus grandis* sob diferentes manejos de resíduos florestais / Rodrigo Figueiredo Almeida; orientador Marisa de Cássia Piccolo. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.
107 p. : il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Manejo do solo 2. Matéria orgânica do solo 3. Serapilheira 4. Silvicultura 5. Solo florestal 6. Sustentabilidade I. Título

CDU 631.416/417 : 630*232

DEDICATÓRIA

Aos meu pais, Hamilton e Oldemira por todo amor, carinho, compreensão, dedicação e por sempre respeitarem as minhas decisões. A minha querida irmã Rayssa, por todo carinho.

Aos meus avós paternos, Abel de Souza Almeida e Nila Pompeu Almeida (*In memorium*), e maternos, Fortunatos Soares Figueiredo e Belmira Soares Figueiredo *(In memorium)* por todo amor a mim dedicado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida.

A Professora Marisa de Cássia Piccolo pela orientação, dedicação e amizade;

Ao Professor José Leonardo de Moraes Gonçalves pelos ensinamentos e pela valoroza contribuição para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências pela possibilidade de realização do curso de Mestrado.

Aos Professores do Laboratório de Ecologia Isotópica, Plinio de Camargo, Luiz Antonio Martinelli e Marcelo Moreira, pelos ensinamentos e convivência.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

Ao Programa Temático de Silvicutura e Manejo (PTSM) do IPEF, pelo apoio logístico e financeiro.

A Siglea Sanna Freitas Chaves por todo o suporte e apoio desde o primeiro momento até o final do mestrado.

Ao Doutorando José Henrique Tertulino Rocha, pela ajuda nos trabalhos de campo, pela eficiência e dedicação.

À equipe da Estação Experimental de Itatinga: Rildo Moreira, Lorival e Elaine pelo apoio durante a realização das atividades.

Aos membros do Programa Temático de Silvicultura e Manejo - PTSM, em especial a Liamara Massulo e Andressa Ávila.

Aos colegas do Laboratório de Ciclagem de Nutrientes (LCN), Wanderlei Bieluczyk, Adibe Filho, Cristiane Formigosa, Marina Peluci, Juliana Ticsher, Guilherme Furlan e Lucas Reis, pela amizade e companheirismo.

Aos colegas do Laboratório de Ecologia Isotópica (LEI): Silvia Rafaela, Janaina Leite, Osmarina Salina, Luiza Consolmagno, Luciana Mulero, Thais Diniz, Leonardo Galera, Maristela Cavalcante, Gabriela Medeiros, Fernanda Gaudio, Taciana Gomes e Pablo Majer.

Aos amigos do time de volêi da ESALQ: Inpata, Rassão, Barrero, K-bresto, Topi-Chef, Big big, Guinho, Alberto, François, Mãrfi, Tabule, Ktéter, Atrasada, Debutante, Gotinha, Istone, Rela-i-tomba, Luvre, Liber, Femili, Xarmi, Pampili, Leticia, Kelly, Carol e Paula.

Aos irmãos da Piracicasa – Cleverson Freitas, Rodolfo Armando, Bruno Delarole, Mithsuhiko Reinaldo e Rafael Girão pelos inúmeros momentos de descontração e alegria vividos.

A minha família de Rennes – Filipi Dias, Larissa Perreira, Bianca de Faro, Isbela Trigo "Isbeautiful", Priscila Guerra, Carolina Sapienza, Julia Niemeyer, Valdilene Siqueira, Luiza Ribeiro, Txai Ferraz, Clarissa Nunes, Joana Wosgrau, Elise Cristine, Vini V, Fabiola Gomes, Noubar Sarkissian e Leonardo Oliveira pelos maravilhosos momentos vividos durante o intercâmbio.

Aos queridos amigos que a vida em Piracicaba me trouxe – Flavio Lorente, Ana Gofredo, Debora Perreira e Luiza Reis.

Aos técnicos do Laboratório de Ecologia Isotópica (LEI): Fabiana, Toninha, Geraldo e Edmar.

A Regina Peçanha (Laboratório de Nutrição Animal – CENA/USP), pelo auxílio na realização das análises de fibras foliares.

A bibliotecária do CENA, Marília pela ajuda na formatação da dissertação.

Aos colegas de graduação Sabrina Benmuyal Vieira e Annícia Barata Silva Maciel Ferreira pela amizada verdadeira.

Ao Francisco Júnior, pelo amor, dedicação, compreensão e carinho.

À minha família, pelo apoio, segurança e compreensão.

Muito obrigado!

RESUMO

ALMEIDA. R. F. **Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre em plantio de *Eucalyptus grandis* sob diferentes manejos de resíduos florestais**. 2017. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

Os plantios florestais fornecem boa parte do suprimento de madeira para o mercado global. A sustentabilidade desses plantios é colocada em questionamento, pois são normalmente estabelecidos em solos de baixa fertilidade e com grandes exportações de nutrientes do sistema com a remoção da biomassa após 6 a 7 anos. Por isso, o manejo dos resíduos florestais assume fundamental importância na fertilidade do solo, bem como na sustentabilidade da produção florestal. Neste sentido, o objetivo desse trabalho é avaliar o estoque de carbono, nitrogênio e enxofre no solo e na serapilheira, em plantio de *Eucalyptus grandis*, sob diferentes manejos de resíduos em LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico de textura média. A pesquisa foi realizada na Estação Experimental de Ciências Florestais, em Itatinga (SP). Os tratamentos consistiram em uma área de vegetação nativa, utilizada como referência (AR) e áreas com diferentes intensidades de manejos de resíduos mantidos na superfície do solo (CReCF: todos os resíduos mantidos sobre o solo e com fertilização NPK; SPACF: remoção de toda parte aérea das árvores com manutenção apenas da serapilheira e com fertilização NPK; SReCF: remoção de todos os resíduos e com fertilização NPK). Amostras de solo (n= 57) foram coletadas até 100 cm de profundidade e as amostras de serapilheira (n= 54) com auxílio de um coletor circular. Os parâmetros avaliados foram: teores e estoques de carbono, nitrogênio e enxofre na serapilheira e no solo; a relação C/N e C/S da serapilheira e do solo; a densidade do solo; a composição isotópica de C e N do solo e do material vegetal e; a qualidade da serapilheira. Os teores de C, N e a composição isotópica foram quantificados por combustão a seco, com auxílio de um analisador elementar (Carlo Erba / CHN-1110) acoplado a um espectrômetro de massa (Thermo Scientific / Delta Plus). O teor de S foi determinado com o auxílio de um analisador LECO S144-DR. Os teores de celulose e hemicelulose foram quantificados pelo método de fibras em detergente neutro (FDN) e em detergente ácido (FDA), e o teor de lignina por detergente ácido (LDA). O estoque de serapilheira foi maior na AR (11,7 Mg ha^{-1}) seguido do tratamento SPACF (9,6 Mg ha^{-1}) e menor no SReCF (7,1 Mg ha^{-1}). Dessa maneira, os estoques de C e N na serapilheira foram maiores na AR e menores no tratamento SReCF. Apesar de não apresentar diferenças significativas nos estoques de C, N e S no solo entre os tratamentos, o CReCF apresentou o maior estoque de C (96,9 Mg ha^{-1}) enquanto que a AR registrou maior estoque de N (5,6 Mg ha^{-1}) e S (1,51 Mg ha^{-1}), na camada 0-100 cm. O tratamento SReCF apresentou os menores estoques de C (87,8 Mg ha^{-1}) e N (4,5 Mg ha^{-1}). A qualidade da serapilheira não diferiu entre os tratamentos com manejo de resíduos, porém a AR apresentou os maiores teores de lignina (452,3 g kg^{-1}) em relação aos demais. De acordo com os resultados, a adoção de práticas sustentáveis, como por exemplo, o cultivo mínimo, são extremamente importantes para a manutenção e conservação da matéria orgânica do solo contribuindo, desse modo, com a ciclagem de nutrientes.

Palavras-chave: Silvicultura. Sustentabilidade. Serapilheira. Qualidade do solo. Floresta plantada.

ABSTRACT

ALMEIDA. R. F. **Carbon, nitrogen and sulfur storage in *Eucalyptus grandis* plantations under different types of forest waste management**. 2017. 107 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

Forest plantations provide much of the timber supply to the global market. The sustainability of these plantations is placed on questioning, since they are normally established in low fertility soils and with large exports of nutrients from the system with the biomass removal after 6 to 7 years. Therefore, the forest waste management assumes fundamental importance in soil fertility, as well as in the sustainability of forest production. In this sense, the objective of this study is to assess the stock of carbon, nitrogen and sulfur in soil and in litter in *Eucalyptus grandis* plantations submitted to different types of forest waste management in medium-textured dystrophic Oxisol. The research was carried out at the Experimental Station of Forest Sciences, in Itatinga (Sao Paulo State - Brazil). The treatments consisted of a native vegetation area used as reference (AR) and areas with different intensities of forest waste management kept on the soil surface (CReCF: all waste kept on the soil plus NPK fertilization; SPACF: removal of all the trees' aerial parts with only the maintenance of the litter plus NPK fertilization; SReCF: removal of all waste plus NPK fertilization). Soil samples (n = 57) were collected up to 100 cm of depth and litter samples (n = 54) with the aid of a circular collector. The evaluated parameters were: contents and stocks of carbon, nitrogen and sulfur in litter and in soil; the C/N and C/S ratio of litter and soil; the soil density; the isotopic composition of C and N of soil and plant material and; the quality of the litter. The carbon, nitrogen and isotopic composition ratios were quantified by dry combustion, using an elemental analyzer (Carlo Erba / CHN-1110) coupled to a mass spectrometer (Thermo Scientific / Delta Plus). The S content was determined with the aid of a LECO S144-DR analyzer. Cellulose and hemicellulose contents were quantified by the neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent (ADF), and the lignin content by the acid detergent (ADL) method. The litter storage was higher in AR (11,7 Mg ha^{-1}) followed by the SPACF treatment (9,6 Mg ha^{-1}) and the lower in SReCF (7,1 Mg ha^{-1}). Thus, stocks of C and N in the litter were higher in AR and lower in the SReCF treatment. Although there were no significant differences in C, N and S stocks in soil among the treatments, the CReCF showed the highest stock of C (96.9 Mg ha^{-1}), while the AR registered higher N (5.6 Mg ha^{-1}) and S (1.51 Mg ha^{-1}) stocks in the layer 0-100 cm. The SReCF treatment presented the lowest stocks of C (87.8 Mg ha^{-1}) and N (4.5 Mg ha^{-1}). The quality of litter did not differ among treatments with waste management; however, AR presented the highest levels of lignin (452.3 g kg^{-1}) in comparison to the others. According to the results, the adoption of sustainable practices, such as minimum cultivation, is extremely important for the maintenance and conservation of soil organic matter, thus contributing to the cycling of nutrients.

Keywords: Forestry. Sustainability. Litter. Soil quality. Planted forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área plantada com espécies do gênero *Eucalyptus* no Brasil, com destaque para a região sudeste em 2015 22

Figura 2 – Mapa de localização da Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) 34

Figura 3 – Precipitação pluvial e temperatura média na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no período de dez anos (2006 a 2016) 35

Figura 4 – Esquema de uso do solo da Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) 36

Figura 5 – Delineamento experimental do manejo de resíduos culturais em plantio de eucalipto em Itatinga, SP 40

Figura 6 – Coletor circular utilizado nas coletas de amostras de serapilheira 41

Figura 7 – Metodologia de coleta das amostras indeformadas de solo em trincheira, com auxílio de cilindros de metal para determinação da densidade do solo 42

Figura 8 – Disposição dos pontos de coleta das amostras deformadas de solo (n=6) para composição de 1 amostra composta para cada tratamento 43

Figura 9 – Estoque de carbono (A), nitrogênio (B) e enxofre (C) na serapilheira em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016 51

Figura 10 – Distribuição de $\delta^{13}C$ (A) e teor de carbono (B) no perfil do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016 54

Figura 11 – Distribuição de $\delta^{15}N$ (A) e teor de nitrogênio (B) no perfil do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016 57

Figura 12 - Teor de lignina, celulose e hemicelulose na serapilheira em plantio de eucalipto na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016 59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área de florestas plantadas e percentual de plantios de Eucalipto, Pinus e outras espécies no Brasil em 2015.....21

Tabela 2 – Caracterização dos experimentos com diferentes manejos de resíduos florestais. Localização, material genético, clima, tipos de solos, número de plantas por hectare (NP), idade das avaliações, perdas de produtividade e fontes de consulta.....28

Tabela 3 – Análise granulométrica do solo da área experimental.....37

Tabela 4 – Manejo de resíduos florestais de eucalipto aplicados em cada tratamento.....39

Tabela 5 – Atributos químicos do solo da área experimental.....39

Tabela 6 – Biomassa de resíduos florestais (RF) acumulada sobre o solo após a colheita, volume de madeira e deposição de serapilheira na primeira (R1) e segunda (R2) rotação 41

Tabela 7 – Serapilheira acumulada em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....48

Tabela 8 – Teor médio de C, N e S e relação C/N e C/S na serapilheira em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....49

Tabela 9 - $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ da serapilheira de um plantio de *E. grandis* submetido a diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais em Itatinga – SP.....52

Tabela 10 - Índices de qualidade da serapilheira em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP), no ano de 2016.....64

Tabela 11 – Teor médio de C (g kg^{-1}) em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016 66

Tabela 12 – Teor médio de N (g kg^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....66

Tabela 13 – Teor médio de S (g kg^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....67

Tabela 14 - Relação C/N do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....69

Tabela 15 – Relação C/S do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....69

Tabela 16 – Densidade média do solo (g cm^{-3}) em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....70

Tabela 17 - Estoque de C (Mg ha^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....72

Tabela 18 - Estoque de N (Mg ha^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....73

Tabela 19 – Estoque de S (Mg ha^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016.....78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR: Área de Referência

CReCF: Com resíduo florestal sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização

FDA: Fibra em Detergente Ácido

FDN: Fibras em Detergente Neutro

FEPASA: Ferrovia Paulista S A

FTE: Micronutrientes tipo fritas

LDA: Lignina em Detergente Ácido

MOS: Matéria Orgânica do Solo

MS: Matéria Seca

Pg: Peta grama

SH: Substâncias Húmicas

SPACF: Sem parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização;

SReCF: Sem todos os resíduos florestais e com fertilização

TFSA: Terra Fina Seca ao Ar

VPDB: Vienna Pee Dee Belemnite

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 19

2. REVISÃO DA LITERATURA 21

2.1. O Setor de Florestas Plantadas Brasileiro 21

2.2. Manejo de Resíduos Florestais 24

2.3. Dinâmica do carbono e nitrogênio no solo 29

2.4. Dinâmica do enxofre no solo 30

2.5. Uso de Isótopos Estáveis (^{13}C e ^{15}N) em Plantios Florestais 32

3. MATERIAL E MÉTODOS 34

3.1 Localização da área experimental 34

3.2 Caracterização da área experimental 34

3.3 Instalação e condução do experimento 37

3.5 Coleta de amostras de serapilheira e do solo 41

3.6 Análises 43

3.6.1 Teor elementar e isotópico de C, N na serapilheira e no solo 43

3.6.2 Teor elementar de enxofre na serapilheira e no solo 44

3.6.3 Estimativa dos estoques de C, N e S na serapilheira 45

3.6.4 Densidade e estimativas dos estoques de C, N e S no solo 45

3.6.5 Qualidade da serapilheira 46

3.6.6 Índices de qualidade da serapilheira 46

3.7 Análises estatísticas 47

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 48

4.1 Serapilheira 48

4.1.1 Teor de carbono, nitrogênio e enxofre na serapilheira 48

4.1.2 Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre na serapilheira 50

4.1.3 Concentrações isotópicas de C ($\delta^{13}C$) e N ($\delta^{15}N$) na serapilheira e no solo 52

4.1.4 Composição de compostos orgânicos da serapilheira 58

4.1.5 Índices de qualidade da serapilheira 60

4.2 Solo 64

4.2.1 Teor de carbono, nitrogênio e enxofre no solo 64

4.2.2 Relação C/N e C/S do solo 67

4.2.3 Densidade do solo 70

4.2.4 Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre no solo 71

5 CONCLUSÕES 79

REFERÊNCIAS 80

APÊNDICES 99

1. INTRODUÇÃO

Entender o funcionamento dos ecossistemas florestais, bem como os processos que determinam a produção de biomassa, é de suma importância, pois auxiliam a inferir sobre a sustentabilidade da produção florestal a longo prazo (KIMMINS, 1994). Os plantios florestais fornecem uma parcela representativa de suprimentos de madeira para o mercado global (LACLAU et al., 2010a). A extensa área de florestas plantadas com o gênero *Eucalyptus* justifica-se pelo fato das espécies apresentarem características de rápido crescimento, alta produtividade e diversidade (MORA; GARCIA, 2000) além de excelente adaptabilidade a diferentes condições de clima e solo (GONÇALVES, 2002). Neste sentido, é necessário que as áreas de silvicultura sejam bem manejadas visando à sustentabilidade do sistema, uma vez que estas são normalmente estabelecidas em solos de baixa fertilidade e grandes exportações de nutrientes ocorrem após a colheita (GONÇALVES et al., 1997; CORBEELS et al., 2005; LACLAU et al., 2005).

A quantidade de resíduos orgânicos remanescentes sobre o solo e a exportação de nutrientes após a colheita são influenciados pelo sistema de colheita adotado, e também pela forma na qual os resíduos são manejados (GONÇALVES et al., 2000). Do ponto de vista da conservação dos solos, a adoção de sistemas de colheita que preconizem a manutenção de todos os resíduos florestais (cascas, galhos, folhas e serapilheira) no campo configura-se como excelente estratégia de manejo, no entanto ainda são predominantes sistemas que realizam a colheita de árvores inteiras, deixando sobre o solo apenas a serapilheira, fator que aumenta a exportação de nutrientes (ROCHA, 2014). A conservação de uma camada orgânica sobre o solo contribui para a manutenção ou até mesmo aumento dos estoques de carbono (SMITH et al., 2000; MENDHAM et al., 2002; 2003), promovendo melhorias nas suas características físicas, químicas e biológicas, e ainda protegendo o solo contra a erosão e a reduzindo a infestação por plantas daninhas.

A dinâmica da serapilheira é determinante para manter a produtividade florestal, mesmo em solos com baixa disponibilidade de nutrientes (SCHEER, 2008). A quantificação dos estoques de serapilheira contribui para o conhecimento dos processos de retorno da matéria orgânica e nutrientes, da vegetação para o solo (VITAL et al., 2004; COSTA et al., 2010; SCHUMACHER et al., 2013), e, consequentemente, para a conservação da área estudada (COSTA et al., 2010).

A matéria orgânica do solo (MOS) possui um importante papel na ciclagem do carbono, nitrogênio e do enxofre, sendo que sua quantidade depende da entrada de material

orgânico, da taxa de mineralização, da textura do solo e do clima, dentre outros fatores. Esses fatores interagem de modo que o teor de MOS tende em direção a um valor de equilíbrio em áreas sob vegetação nativa (KHORRAMDEL et al., 2013). Entretanto, em sistemas de produção florestal, o manejo adotado tem grande influência nos estoques e na qualidade da MOS, podendo diminuir, manter ou aumentar esses estoques em relação à vegetação nativa (BAYER; MIELNICZUK; MARTIN-NETO, 2000; LIU et al., 2003; KHORRAMDEL et al., 2013).

O teor de matéria orgânica do solo é a propriedade do solo mais correlacionada com o rendimento de eucalipto em solos altamente degradados (MENEZES, 2005). Em regiões de cerrado, com déficit hídrico acentuado, o uso de fórmulas concentradas de fertilizantes, associado às rotações de cultivo e ao alto potencial produtivo dos plantios de eucalipto, pode acarretar em respostas à aplicação de S, mesmo em solos manejados no sistema de cultivo mínimo (ROCHA et al., 2015). A deposição de tecidos senescentes sobre o solo e sua consequente mineralização pelos microrganismos é a principal forma de ciclagem de S, visto que a maior parte desse nutriente é ciclado biogeoquimicamente (ROCHA et al., 2015).

Nesse sentido, torna-se primordial a realização de pesquisas que avaliem a influência do cultivo mínimo sobre o carbono, nitrogênio e enxofre do solo em sucessivas rotações de cultivos florestais, pois esses resultados podem ser utilizados em modelos prognósticos da influência do manejo do solo sobre a dinâmica de C, N e S. É de conhecimento da sociedade científica que o manejo de resíduos florestais interfere diretamente na dinâmica da matéria orgânica do solo, por isso propõem-se as seguintes hipóteses:

-A manutenção dos resíduos florestais na área, após a colheita, aumenta os estoques de carbono, nitrogênio e enxofre no solo;

-A manutenção dos resíduos florestais tende a aumentar o acúmulo de serapilheira sobre o solo;

-A manutenção dos resíduos florestais ocasiona impactos positivos sobre a qualidade da serapilheira, diminuindo as relações C/N, Lig./N e Lig.+Cel./N;

Assim, os objetivos deste estudo foram: i) Avaliar os estoques de carbono, nitrogênio e enxofre no solo sob plantio de *Eucalyptus grandis,* em segunda rotação e com diferentes manejos de resíduos florestais; ii) Estimar a qualidade, assim como o estoque de carbono, nitrogênio e enxofre da serapilheira depositada no solo sob plantio de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, e com diferentes manejos de resíduo pós-colheita iii) Determinar a abundância natural de $\delta^{13}C$ e $\delta\ ^{15}N$ na serapilheira e no solo sob plantio de *Eucalyptus grandis*.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. O Setor de Florestas Plantadas Brasileiro

O setor florestal brasileiro tem crescente relevância para o país. A expansão do PIB do setor brasileiro de florestas plantadas, em 2015, foi expressiva, com crescimento de 3,0%. Os tributos pagos pelo setor em 2015 permaneceram estáveis em relação a 2014, principalmente em função da retração das vendas domésticas de papel, painéis de madeira e produtos sólidos de madeira. No ano de 2015 a silvicultura brasileira foi responsável pela geração de, aproximadamente, 11,3 bilhões de reais em tributos federais, estaduais e municipais, correspondendo a 0,9% da arrecadação nacional. Em relação ao PIB brasileiro, o setor de árvores plantadas fechou o ano de 2015 com 1,2% de representação em toda a riqueza gerada no País e 6,0% do PIB industrial (IBA, 2016).

O potencial de contribuição das florestas plantadas para o desenvolvimento social e econômico do Brasil é significativo. A silvicultura representa 1,75% das terras agriculturáveis brasileiras (IBA, 2015). Em 2015, o saldo da balança comercial do setor brasileiro de árvores plantadas aumentou 14,9% em relação a 2014, fechando o ano com recorde de US$ 7,7 bilhões. A redução de 31,6% nas importações e aumento de 5,9% na receita das exportações contribuíram para esse resultado positivo. Esse marco está relacionado ao crescimento da produção interna de celulose e à desvalorização do real frente ao dólar, fatores que contribuíram para a elevação do valor das exportações dessa commodity. Os produtos brasileiros de base florestal têm na Europa e China seus principal mercado consumidor, representando 52% dos valores totais exportados (IBA, 2016). No ano de 2016, a silvicultura nacional abrangeu uma área de, aproximadamente, 9,95 milhões de hectares, sendo 74,9% com espécies do gênero *Eucalyptus* (Tabela 1).

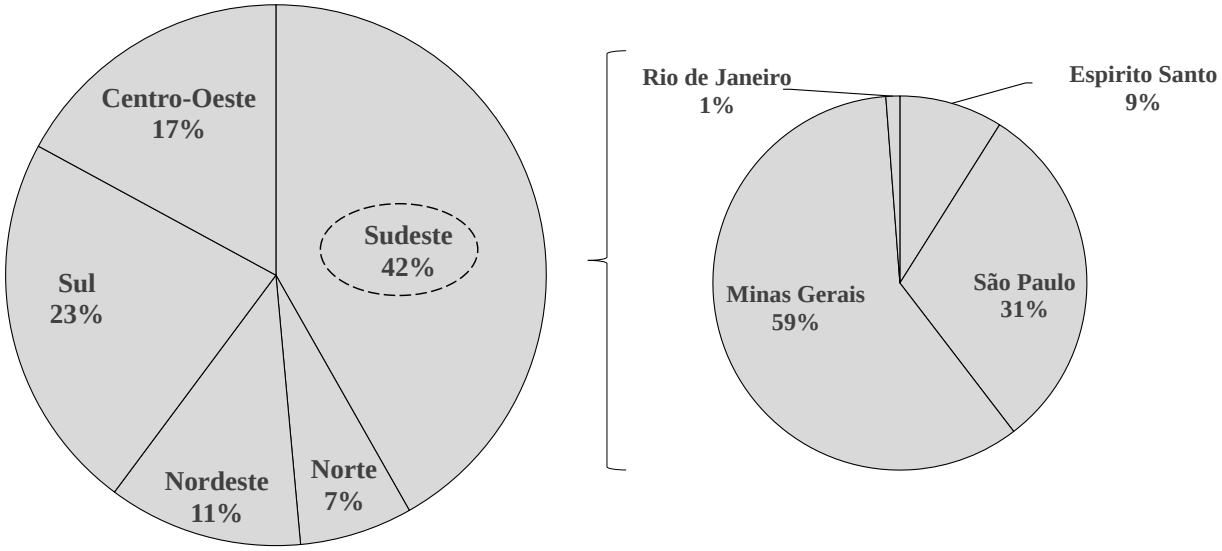
Tabela 1 - Área de florestas plantadas e percentual de plantios de Eucalipto, Pinus e outras espécies no Brasil em 2015

Região	**Área (ha)**	**Plantios de Eucalipto**	**Plantios de Pinus**	**Plantios de outras espécies**
			(%)	
Norte	618.885	81,35	0,15	18,5
Nordeste	874.839	99,09	0,08	0,83
Sudeste	3.301.310	94,22	5,62	0,15
Sul	3.780.010	44,76	49,24	6,00
Centro-Oeste	1.360.309	93,50	1,04	5,46
Brasil	**9.935.353**	**74,9**	**20,76**	**4,31**

Fonte: IBGE - Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (2016)

No cenário nacional, as regiões sul e sudeste representam 65% de toda área plantada com espécies do gênero *Eucalyptus*. Somente na região sudeste a área plantada com eucalipto totalizou 3.110.620 ha em 2015, com especial destaque para os estados de Minas Gerais e São Paulo com, aproximadamente, 1.841.943 e 952.884 ha, respectivamente (Figura 1).

Figura 1 – Área plantada com espécies do gênero *Eucalyptus* no Brasil, com destaque para a região sudeste em 2015



Fonte: IBGE, 2016

Entre as principais vantagens para os plantios brasileiros estão as condições ambientais favoráveis à silvicultura intensiva; boa adaptação das espécies exóticas utilizadas que apresentam, em sua maioria, rápido crescimento e elevada produtividade; disponibilidade de terras para cultivo sem comprometer outras culturas; domínio de tecnologias para a silvicultura e manejo das espécies mais plantadas; presença de indústrias diversificadas bem estabelecidas e modernas além de produtos com qualidade adequada para atender ao mercado nacional e internacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE, 2014).

De maneira geral, na silvicultura tropical e subtropical predomina espécies do gênero *Eucalyptus*, estas fornecem matéria-prima para madeira, papel e biocombustíveis, assim como grandes quantidades de lenha (FAO, 2010). Dentro deste gênero, estão inclusas espécies de rápido crescimento em regiões tropicais, com destaque para o *E.grandis*, que é altamente produtivo e o mais plantado no mundo inteiro em regiões subtropicais quentes e úmidas

(FAO, 2005; HARWOOD, 2011; GONÇALVES et al., 2013). O rápido crescimento das florestas de eucalipto, quando comparada às florestas nativas, assim como a alta produção de madeira não exige uma abertura intensiva de áreas produtivas para suprir a demanda mundial de madeira, fator que contribui para condução de uma silvicultura sustentável (WRIGHT; DINICOLA; GAITAN, 2002).

A produtividade média dos plantios de eucalipto no Brasil foi de 36 m^3 ha^{-1} ano^{-1}. Nos últimos cinco anos, a produtividade do eucalipto aumentou em uma taxa de 0,7% a.a. (IBA, 2016). A produtividade florestal é consideravelmente influenciada pelo tipo de manejo adotado e pela forma como os resíduos florestais são utilizados nas rotações subsequentes. De uma forma geral, a manutenção dos resíduos florestais aumenta a disponibilidades de nutrientes para as plantas uma vez que a exportação de nutrientes é consideravelmente reduzida a medida em que os resíduos são mantidos sobre o solo (MENDHAM et al., 2003; MATHERS et al., 2003; O'CONNELL et al., 2004a; CORBEELS et al., 2005). Além disso, os resíduos apresentam diversos outros efeitos sobre o solo que resultam em uma melhor condição de desenvolvimento e com isso maior produtividade (JONES et al., 1999; GONÇALVES, 2002; MATHERS et al., 2003). Em *Eucalyptus alba* no Congo, Deleporte et al. (2008) observaram que a remoção dos resíduos florestais e da serapilheira reduziram em 30 e 43% o IMA aos 11 e 84 meses, respectivamente. A produtividade média do tratamento em que todos os resíduos foram removidos foi de 13,7 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, já o tratamento em que todos os resíduos foram mantidos foi de 20 m^3 ha^{-1} ano^{-1} (LACLAU et al., 2010a). Na África do Sul, em um experimento instalado com *Eucalyptus grandis*, foi observado que a remoção dos resíduos reduziu a produtividade de 25,2 m^3 ha^{-1} ano^{-1} para 22,2 m^3 ha^{-1} ano^{-1}, aos sete anos (DU TOIT et al., 2008).

É importante destacar que nos últimos anos cresceu o número de projetos que atuam na proposta de estudar e difundir modelos de produção sustentáveis no país. Nesta linha, cita-se o Plano Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), que é uma iniciativa do Governo Federal (em vigor desde 2011), que tem como objetivo incentivar a produção agrícola, silvicultural e pecuária de forma a otimizar o uso de recursos naturais e minimizar os impactos ambientais (BRASIL, 2012). Dentre todos os programas preconizados pelo Plano ABC está o estímulo ao crescimento de áreas de florestas plantadas, tendo como objetivo implementar uma fonte de renda de longo prazo; aumentar a oferta de madeira para o mercado; reduzir a pressão sobre as matas nativas; e capturar CO_2 atmosférico.

Estudos comprovam que o manejo adequado de florestas comerciais pode contribuir na recuperação de solos degradados, beneficiar o microclima da região, além de apresentar

benefícios socioeconômicos, uma vez que tais plantios demandam mão-de-obra e são capazes de gerar renda, na forma de tributos municipais, estaduais e federais (KEENAN et al., 1997; HARDWICK et al., 1997; FEYERA; BECK; LÜTTGE, 2002).

2.2. Manejo de Resíduos Florestais

A serapilheira é a principal via de transferência de nutrientes da biomassa florestal para o solo, para onde os mesmos são liberados por meio da mineralização do material orgânico em decomposição, de modo que se tornam novamente disponíveis para as plantas (VITOUSEK; SANFORD, 1986; PROCTOR, 1989; CULLINGS et al., 2003). O aporte e a transformação da serapilheira são fundamentais para manutenção das propriedades dos solos em plantios de espécies exóticas comerciais (PINTO et al., 2008; SCHUMACHER et al., 2013). O processo de decomposição da serapilheira pode durar de dias até anos, influenciado por fatores que podem ser divididos em três grupos de variáveis. O primeiro refere-se às condições físico-químicas do ambiente, as quais são controladas pelo clima e condições edáficas do sítio; o segundo referente à qualidade (orgânica e nutricional) dos resíduos, que regula sua degradabilidade; e o terceiro é relacionado à natureza da comunidade decompositora, os macro e microrganismos (HEAL; ANDERSON; SWIFT, 1997; CORREIA; ANDRADE, 1999; SILVA; MENDONÇA, 2007).

Por este motivo, em áreas de implantação florestal, o manejo adequado dos resíduos pós-colheita torna-se fundamental, pois estes irão compor a MOS, influenciando na estrutura química, física e biológica do solo. A qualidade dos compostos orgânicos pode ser definida por meio de sua composição química, como os teores de carbono, nitrogênio, lignina, celulose, hemicelulose, polifenóis e pelas relações carbono/nitrogênio (C/N), carbono/fósforo (C/P) e lignina/nitrogênio (Lig./N) (CARVALHO et al., 2011; 2012). Tais atributos químicos afetam a atividade microbiana, influenciando diretamente os processos de decomposição e mineralização da MOS, e consequentemente no fornecimento de nutrientes às plantas (QUINTANA, 2014). A relação C/N é amplamente utilizada para estudos sobre produção sustentável, pois é um indicador que avalia a velocidade de decomposição, bem como as taxas de mineralização e imobilização (DICK et al., 2009).

Os resíduos florestais de eucalipto apresentam elevadas relações, variando de 30/1 nas folhas até 120 e 240/1 nos materiais mais lenhosos. Mesmo assim, a serapilheira de eucalipto contribui significativamente com a transferência de nutrientes para o solo e, consequentemente, para as plantas (BARROS; COMERFORD, 2002; GUO; SIMS, 1999;

DUTTA; AGRAWAL, 2001). Pegoraro et al. (2011) avaliando a qualidade dos resíduos de eucalipto, obtiveram relação C/N de 93,04. Essa elevada relação C/N, bem como seus altos teores de lignina (BRITO; BARRICHELO; GARLIPP, 1978), resulta na baixa velocidade de decomposição desses resíduos. As taxas de decomposição da serapilheira de seis espécies tropicais apresentaram correlação negativa com a concentração inicial de lignina (BUTENSCHOEN et al., 2014). A lignina também é responsável pela redução nas taxas de decomposição de caules, folhas, raízes finas e órgãos reprodutivos de várias espécies florestais (FRESCHET; AERTS; CORNELISSEN, 2012).

Em solos de baixa fertilidade e com pouca reserva de minerais, como, por exemplo, em Latossolos e Neossolos Quartzarênicos a matéria orgânica possui grande importância, visto que influencia diretamente na dinâmica dos nutrientes (GONÇALVES, 2002; TIESSEN; CUEVAS; CHACON, 1994). Por isso, é necessária a adoção de sistemas conservacionistas que adotem técnicas de manejo que visem aumentar a quantidade e qualidade da matéria orgânica no solo, com objetivo de favorecer a dinâmica e os estoques de nutrientes do solo (KUMAR; GOH, 2000). Diante desse fato, o manejo dos resíduos florestais (serapilheira e sobras de colheita) assume fundamental importância na fertilidade do solo, assim como na sustentabilidade da produção florestal (TIESSEN; CUEVAS; CHACON, 1994; TIARKS; NAMBIAR; COSSALTER, 1998; MENDHAM et al., 2002).

As áreas de implantação florestal (primeiro ciclo de uma cultura florestal) ocupam geralmente antigas áreas de pastagens. Tais áreas apresentam baixa quantidade de resíduos orgânicos sobre o solo, que são facilmente decomponíveis, o que facilita as operações silviculturais (ROCHA, 2014). Entretanto, em áreas de segundo ciclo de cultivo a quantidade de resíduos oriundos do plantio anterior pode variar de 10 a 120 $t.ha^{-1}$, dependendo da região, idade, espaçamento, e sistema de colheita utilizado (GONÇALVES et al., 2000; SANKARAN et al., 2008; TOIT et al., 2008). Esses resíduos apresentam alta recalcitrância, por isso permanecem sob o solo por longos períodos, fator que pode dificultar as operações silviculturais como, por exemplo, o preparo do solo e o controle de formiga (ZEN; YONEZAWA; FELDEBERG, 1995; GONÇALVES et al., 2000). Além disso, sua manutenção pode aumentar os custos com operações mecanizadas, exigindo maiores investimentos em tecnologia para garantir a qualidade da silvicultura (ROCHA et al., 2016). Por esse motivo, até o início da década de 1990, a prática da queima era comumente utilizada para “limpar” o solo, facilitando assim as operações silviculturais e contribuindo para o desenvolvimento inicial das plantas (ZEN; YONEZAWA; FELDEBERG, 1995). Contudo, tal prática acarretava em diversos problemas, como por exemplo: grandes perdas de

nutrientes, degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos. Observando os efeitos negativos acometidos pelo intenso uso do fogo e do preparo do solo, novas técnicas de manejo passaram a ser desenvolvidas e disseminadas no setor florestal. Neste cenário destaca-se o sistema de cultivo mínimo, técnica que preconiza a manutenção dos resíduos florestais sobre o solo da área de cultivo após a colheita (GONÇALVES et al., 2000; GONÇALVES, 2002).

De acordo com Gonçalves et al. (2002), o cultivo mínimo mantém ou melhora as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, aumentando ou mantendo a produtividade da floresta. A adoção desse sistema reduz consideravelmente os custos de reforma em relação ao cultivo intensivo do solo, aumentando a eficiência da mão-de-obra em 56% em áreas acidentadas. Essa redução foi ainda mais significativa em áreas planas, chegando a 46% e 86% de redução nos custos e na eficiência de mão-de-obra, respectivamente (ZEN; YONEZAWA; FELDEBERG, 1995). A manutenção dos resíduos florestais sobre o solo após a colheita é extremamente importante para a manutenção dos teores de matéria orgânica do solo (MENDHAM et al., 2003; ROCHA, 2014). Entretanto, em virtude de questões econômicas (restrição à compra de terras e aumento no preço dos combustíveis fósseis) os resíduos florestais têm sido vistos como possíveis fontes de energia para o setor industrial. Apesar de ser uma fonte de energia renovável, os benefícios da manutenção dos resíduos no campo não podem ser esquecidos.

Com o intuito de avaliar o impacto de diferentes práticas de manejo de resíduos florestais sobre a produtividade e sustentabilidade dos plantios florestais, inúmeros estudos foram desenvolvidos a partir de questionamentos de pesquisadores sobre a sustentabilidade dos plantios florestais de curta duração (MIRANDA et al., 1998; JONES et al., 1999; NZILA et al., 2002; MENDHANM et al., 2003; O'CONNELL et al., 2004a; Du TOIT; DOVEY, 2005; Du TOIT et al., 2008; SANKARAN et al., 2008; XU; YANG; ZHANG, 2008; LACLAU et al., 2010b). Um experimento denominado "*Site Management and Productivity in Tropical Plantation Forests*" desenvolvido pelo "*Center for International Forestry Research*" (CIFOR), é uma importante fonte de informações sobre os plantios florestais em regiões tropicas e subtropicais. A presente pesquisa faz parte desse experimento, que tem por objetivo principal entender o impacto de diferentes práticas de manejo na produtividade de sucessivas rotações de cultivo em regiões tropicais e subtropicais, desenvolvendo, dessa forma, alternativas de manejo para elevar a produtividade e sustentabilidade de florestas de ciclo curto (NAMBIAR; KALLIO, 2008).

No total, 16 sítios experimentais, distribuídos em oito países, foram implantados utilizando diferentes intensidades de manejo de resíduos florestais. Além disso, como forma de adequação a realidade de cada região, tratamentos alternativos foram instalados. A queima e incorporação dos resíduos são exemplos desses tratamentos. Grande parte deles foi instalado com espécies do gênero *Eucalyptus*, abrangendo diferentes condições de clima e solo, resultando em diferentes respostas ao manejo de resíduos florestais adotado (SAINT-ANDRÉ et al., 2008; ROCHA, 2014). A Tabela 2 apresenta 8 áreas experimentais, distribuídas em quatro países, sendo um em região subtropical e sete em região tropical.

Tabela 2 – Caracterização dos experimentos com diferentes manejos de resíduos florestais. Localização, material genético, clima, tipos de solos, número de plantas por hectare (NP), idade das avaliações, perdas de produtividade e fontes de consulta

País	Espécie	Cidade	Clima	PP(1)	T(2)	Solo(3)	NP	Idade	Perda de Produtividade(4) (%)	Fonte(5)
Brasil	*E. saligna x E. robusta*	Itamarandiba	Tropical	1114	20	Ferralsols	2220	8,5	24	1
Congo	Híbrido de *Eucalyptus*	Pointe-Noire	Tropical	1200	25	Ferralic Arenosols	803	7	34	2,3
África do Sul	*E. grandis*	KwaZulu-Natal	Subtropical	950	15	Humic Ferralsol	1680	5,5	12	4,5
Índia	*E. tereticornis*	Punalla	Tropical	2000	27	Ferralsols	2500	6,5	0	6
Índia	*E. grandis*	Surianelli	Tropical	3000	27	Ferralsols	2500	6,5	0	6
Índia	*E. grandis*	Vattavada	Tropical	1800	27	Ferralsols	2500	6,5	0	6
Índia	*E. tereticornis*	Kayampoovam	Tropical	2700	27	Ferralsols	2500	6,5	0	6

(1) Precipitação pluviométrica; (2) Temperatura média anual, em graus Celsius; (3) Classificação segundo FAO/WRB ("World Reference Base Soil Resouces"); (4) Perda de produtividade quando compara-se tratamentos com manutenção e remoção dos resíduos florestais (5) 1 - Miranda et al. (1998), 2 - Laclau et al. (2010b), 3 - Nzila et al. (2002), 4 – Du Toit e Dovey (2005), 5 – Du Toit et al. (2008), 6 - Sankaran et al. (2008).
Fonte: Adaptado de Rocha, 2014

2.3. Dinâmica do carbono e nitrogênio no solo

O compartimento solo-floresta representa um dos principais reservatórios de carbono da superfície terrestre (LAL, 2008). O solo pode atuar como fonte e também como um grande sumidouro de CO_2 atmosférico. A estimativa no Globo terrestre é que os solos acumulam 2500 Pg de carbono, sendo quatro vezes maior que a quantidade de carbono armazenado na biomassa das plantas (560 Pg C) ou na atmosfera (760 Pg C) (LAL, 2008). A matéria orgânica do solo contribui para os ciclos do C e do N na atmosfera. Por este motivo, infere-se que mudanças no uso do solo podem alterar a dinâmica da matéria orgânica (ASSAD et al., 2013), e com isso interferir nas condições climáticas (LAPOLA et al., 2014), principalmente no entorno da área em questão. Nesse sentido, a adoção de sistemas de produção que contribuam para maior aporte de matéria orgânica do solo e, ou diminuam a sua mineralização deve ser constantemente incentivado (LEITE et al., 2003).

Os solos tropicais armazenam cerca de 506 Pg C (BATJES; DIJKSHOORN, 1999). Ao avaliar os estoques totais de C em todo o território brasileiro, os maiores valores encontrados estão relacionados à umidade do solo, temperatura e umidade relativa do ar (BERNOUX et al., 2002). Visto que o acúmulo de carbono no solo é fruto das adições de materiais orgânicos. A serapilheira é a principal responsável pelo acúmulo de MOS (SELLER, 2007), assim como pela ciclagem de carbono, nitrogênio e fosforo nos ambientes florestais (COLE; RAPP, 1980). Mudanças no carbono do solo após o estabelecimento de plantios florestais geralmente são influenciados pelo histórico de uso da terra e pelas propriedades do solo (DE KONING; VELDKAMP; LÓPEZ-ULLOA, 2003; DON; SCHUMACHER; FREIBAUER, 2010; LAGANIÉRE; ANGERS; PARÉ, 2010). Em plantios de eucalipto os estoques de carbono do solo (0-10 cm), tendem a aumentar ou permanecer o mesmo, apresentando efeitos variáveis com a propriedades químicas do solo (N, P, K, Ca, Mg e pH) (NAMBIAR; HARWOOD, 2014).

As propriedades biológicas do solo são extremamente dependentes da MOS (PRAGANA et al., 2012) como fonte de carbono, energia e nutrientes para os microrganismos do solo. Os microrganismos são os principais responsáveis pelo processo de decomposição, ciclagem de nutrientes, fixação biológica de nitrogênio e pelo fluxo de energia no solo. Estes são sensivelmente estimulados pelo maior aporte de matéria orgânica no solo (ARAÚJO et al., 2008). A MOS é um componente bastante sensível às condições ambientais e às mudanças nas práticas de manejo do solo (SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2000), logo o manejo inadequado do solo, que revolvem intensamente o solo e sistemas de culturas com baixa

adição de resíduos vegetais podem comprometer a sustentabilidade do sistema (LOVATO, 2001; VEZZANI, 2001).

O nitrogênio é o nutriente mais alterado no processo de degradação do solo (AITA, 1997), pois aproximadamente 95% do N do solo encontra-se ligado a matéria orgânica (SILVA et al., 2004). O decréscimo no estoque de N orgânico, somada às inúmeras transformações de natureza bioquímica a que o N está sujeito (mineralização, imobilização, desnitrificação, entre outros) e à grande quantidade exigida pela maioria das culturas, tornam-no o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das plantas, razão pela qual o seu manejo é bastante complexo (BORTOLON et al., 2009).

A baixa disponibilidade de N limita o crescimento de plantios de *E. globulus* de rápido crescimento (JUDD et al., 1996; O'CONNELL et al., 2004b). No sudoeste australiano, perdas acima de 500 Kg N ha^{-1} através da colheita e queima dos resíduos florestais foram observadas em um plantio com oito anos e altamente produtivo de *E. globulus*. (O'CONNELL; GROVE, 1999). Esses resultados levam a crer que, a longo prazo, grandes exportações de nutrientes com a colheita, combinada com a baixa entrada via fertilizantes e fixação biológica, diminuirão progressivamente a fertilidade e produtividade do sítio. A produtividade ótima de um plantio de *E. Globulus*, de 3 a 4 anos de idade, na zona de maior precipitação do sudoeste da Austrália, exige uma acumulação anual próxima a 100 kg N ha^{-1} ano $^{-1}$ (O'CONNELL et al., 2004b). A medida que a oferta de N do solo é capaz de suprir a elevada demanda desse nutriente pelas plantas, tal fator determinará em grande parte se os altos níveis de produtividade podem ser sustentados quando as plantações são cultivadas ao longo de sucessivas rotações. O gerenciamento de resíduos de árvores depositados na superfície do solo na colheita é uma opção para manipular o suprimento de N do solo em segunda ou em rotações subsequentes (SMETHURST; NAMBIAR, 1990; JONES et al., 1999; NZILA et al., 2002; O'CONNELL et al., 2003).

2.4. Dinâmica do enxofre no solo

O enxofre (S) é o décimo elemento mais abundante no universo, e o mais abundante na crosta terrestre, que contém em média de 0,06 a 0,10 %. Ocorre naturalmente na forma de gesso ($CaSO_4$ $2H_2O$), na forma de pirita (FeS_2) em xistos, carvões, calcários e arenitos, na forma de S elementar em areias betuminosas, na forma de compostos salinos em formações sedimentares, e como parte do húmus do solo e marinho (HAVLIN et al., 2005; STEVENSON; COLE, 1999). O ciclo desse elemento engloba diversos processos que ocorrem nas rochas, solo, atmosfera, na água e nos seres vivos. Por se tratar de um

elemento essencial à vida, constituinte de proteínas e de outros compostos celulares, é interessante compreender melhor a dinâmica desse elemento no sistema solo-planta (OSÓRIO FILHO et al., 2007).

As principais fontes naturais de enxofre para as culturas são: matéria orgânica, minerais do solo e gases de S na atmosfera. No solo, mais de 90% do S da camada superficial encontra-se na forma orgânica (S-orgânico), sendo essa a principal fonte de SO_4^{-2} para a solução do solo, consequentemente, para as plantas. O solo é o principal reservatório de S, armazenando cerca de 300 a 750 kg ha^{-1}; sendo que apenas 10 a 20 % são decomponíveis e disponíveis as plantas. O S orgânico é gradualmente mineralizado a SO_4^{-2} (STARKEY, 1950), e pelo fato da fração orgânica deste nutriente ser a predominante, a mineralização e imobilização regulam o ciclo no solo e controlam a disponibilidade de S às plantas (NZIGUHEBA; SMOLDERS; MERCKX, 2005). A maior parte do S é ciclado biogeoquimicamente, sendo sua ciclagem dependente da deposição de tecidos senescentes sobre o solo e consequente mineralização desses por microrganismos.

Em plantações de *Eucalyptus grandis*, observou-se que a taxa de retranslocação de S variou entre 20 e 50%, dependendo da idade do povoamento e da época do ano (SILVA, 2006). Quanto maior a idade do povoamento, menor será a taxa de retranslocação desse nutriente. Devido a essa baixa mobilidade do S nas arvores, a serapilheira torna-se um importante componente da ciclagem desse nutriente a qual apresenta de 2 a 13 kg ha^{-1} de S (GONÇALVES et al., 2000).

Lehmann et al. (2001) avaliando solos tropicais na Amazônia verificou que a maior parte do enxofre estava na forma orgânica, sendo a grande maioria ligada ao carbono. A transformação do S orgânico para formas minerais se dá pelo processo de mineralização, sendo que a velocidade desse processo depende da atividade microbiana, que, por sua vez, depende da temperatura, umidade, aeração e pH do solo (ROCHA et al., 2015).

Em virtude da baixa ou até mesmo da falta de resposta dos cultivos a aplicação de fertilizantes fosfatados o enxofre é pouco estudado em relação aos demais nutrientes, como por exemplo, o N, P e K. De forma contrastante, não são raros os casos de áreas que apresentam solos potencialmente deficientes em S, sobretudo os mais intemperizados como os Latossolos e Argissolos, que ocupam áreas bastante representativas do território brasileiro (ALVAREZ et al., 2007; STEVENSON; COLE, 1999).

A maior parte das plantações de eucalipto estão estabelecidas em regiões com solos muito intemperizados, em grande proporção, constituídos por Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (GONÇALVES et al., 2013). Nestas classes de solo, Kliemann (1987) e Lilienfein et al. (2000) encontraram teores totais de S variando de 0,08 a 0,32 g kg^{-1}, nos primeiros 20 cm. A quantidade de S depositado sobre o solo em povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade variou entre 8 e 15 kg ha^{-1} ano^{-1}. Esses valores são relativamente bem significativos, pois a quantidade de S acumulada na parte aérea desse mesmo povoamento nesta idade foi cerca de 40 kg ha^{-1} (GONÇALVES et al., 2000).

O cultivo intensivo de solos com baixo teor de matéria orgânica e de argila, o uso de fertilizantes concentrados, possuindo pouco ou nenhum S na sua constituição, e a contínua exportação de S sem reposição podem levar à diminuição da disponibilidade deste elemento às plantas, potencializando os riscos de deficiência nas culturas (OSÓRIO FILHO et al., 2007). Por isso, a adoção de práticas conservacionistas, como o cultivo mínimo, e o manejo adequado dos resíduos florestais assume fundamental importância na fertilidade do solo, bem como na sustentabilidade da produção florestal.

2.5. Uso de Isótopos Estáveis (^{13}C e ^{15}N) em Plantios Florestais

Isótopos estáveis são excelentes traçadores da matéria orgânica do solo, podendo rastrear, por exemplo, o destino de determinados nutrientes, oriundo dos resíduos culturais nos diferentes compartimentos do ecossistema florestal. Estudos recentes utilizando isótopos estáveis vêm sendo realizados para avaliar o impacto do manejo de resíduos nos estoques de C e N (VERSINI et al., 2014; PEGORARO et al., 2011; FAHEY et al., 2011).

A partir das análises dos valores de $\delta^{13}C$ é possível obter informações acerca das modificações da cobertura vegetal bem como a origem da matéria orgânica, pois em virtude da ação de diferentes enzimas utilizadas durante a fotossíntese (C_3: enzima RuBisCO e C_4: PEP-carboxilase) torna-se possível a diferenciação entre plantas C_3 e C_4. Plantas de ciclo C_3 apresentam valores de $\delta^{13}C$ entre -22 e -32‰ e as plantas do ciclo C_4 valores entre -9 e -17‰ (BOUTTON, 1991; HANDLEY; RAVEN, 1992; HOGBERG, 1997; SMITH; EPSTEIN, 1971). Loss et al. (2016) avaliaram a abundância natural de ^{13}C em diferentes manejos de uso do solo, obtendo menor valor nas camadas mais profundas, variando de 24,19 a -22,08 ‰ na floresta, -22,89 a -20,57 ‰ em plantio direto e -22.89 a -22.84 ‰ em plantio convencional.

Outro isótopo bastante utilizado em estudos ambientais é o ^{15}N, através dele é possível avaliar as modificações de N no solo, estimando assim as taxas de transformação, fornecendo informações importantes sobre o sistema (SZPAK, 2014). Reações de mineralização,

nitrificação, desnitrificação e volatilização, associadas às assimilações de N pelas plantas, propiciam maior decomposição do isótopo mais leve de N (^{14}N), deixando a matéria orgânica remanescente enriquecida em átomos de ^{15}N (BUSTAMANTE et al., 2004). Neste sentido, de acordo com Mendonça et al. (2010), menores valores de δ ^{15}N estão associados à maior quantidade de MOS, enquanto que em áreas onde se tem menores valores de carbono orgânico encontraram-se os maiores valores de δ ^{15}N, o que é indício da decomposição da matéria orgânica.

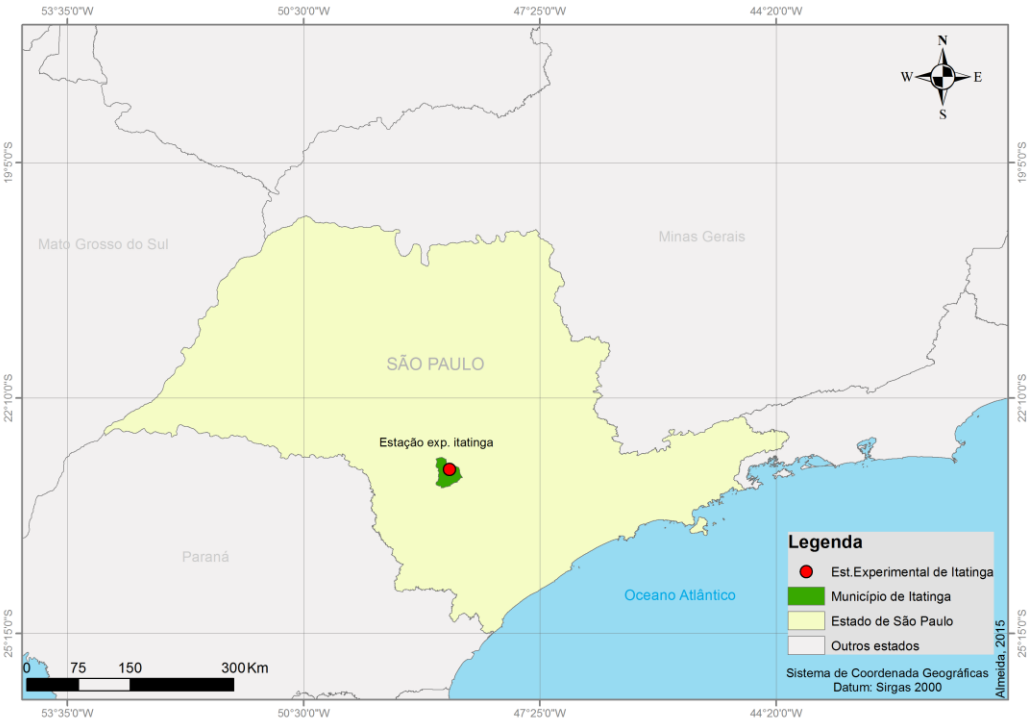
De acordo com Szpak (2014), o ^{15}N aumenta com a idade da matéria orgânica do solo e o grau de decomposição. Loss et al. (2016) observaram, em profundidade, um enriquecimento isotópico com ^{15}N em área de floresta. Este enriquecimento com ^{15}N e a redução da concentração de nitrogênio com a profundidade do solo é um padrão clássico de ocorrência em solos (NADELHOFFER; FRY, 1994). Em um plantio de eucalipto instalado na República do Congo, os valores de δ ^{15}N variaram de 6,4 a 9,2 ‰ na biomassa aérea (folhas, cascas e galhos) e de 36‰ (0 - 2,5 cm) a 5‰ (10 – 15 cm) no solo, (VERSINI et al., 2014).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O estudo foi realizado na Estação Experimental de Itatinga (Figura 2), vinculada ao Departamento de Ciências Florestais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), pertencente a Universidade de São Paulo, localizada no município de Itatinga, estado de São Paulo (23º 06' S e 48º 36' O).

Figura 2 – Mapa de localização da Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP)



Fonte: O Autor

3.2 Caracterização da área experimental

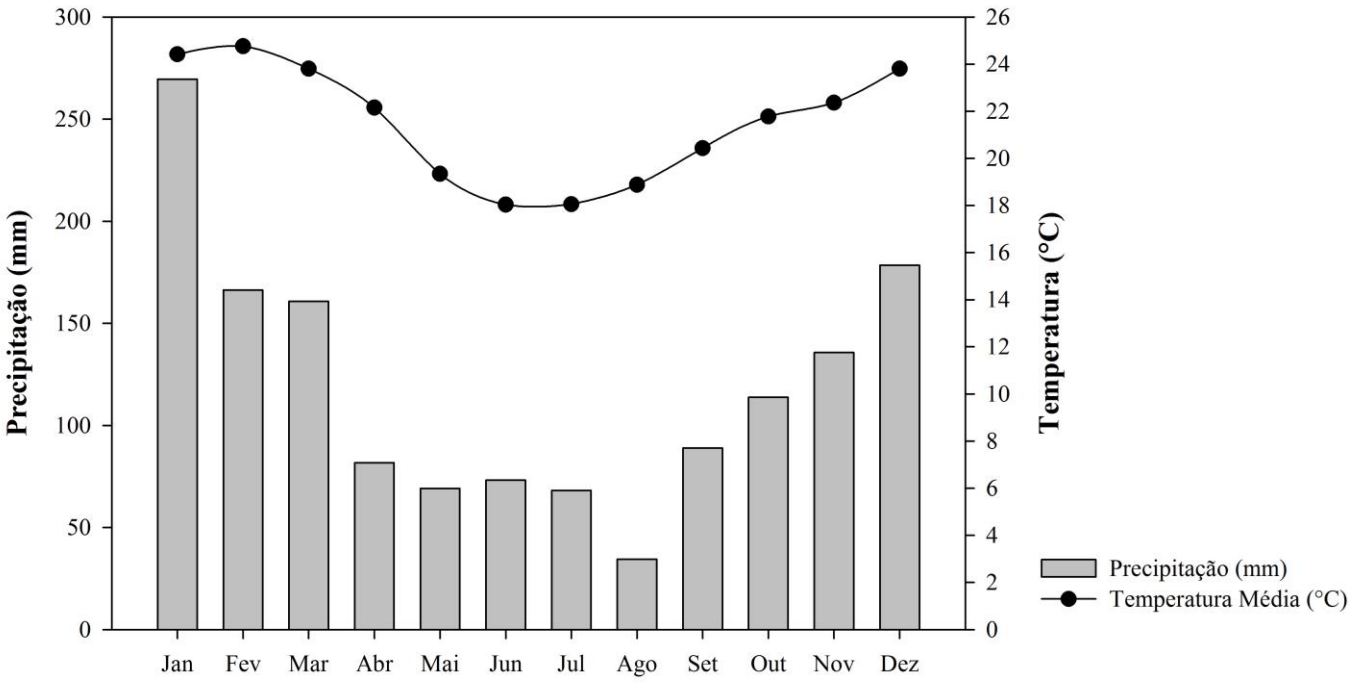
A estação experimental de Itatinga possui 2.119,6 hectares e altitude de 857 m, ocupados inicialmente pela vegetação natural da região: o cerrado *stricto sensu*, segundo classificação de Ribeiro e Walter (1998). Esta fitofisionomia é caracterizada pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente com evidências de queimadas. Algumas espécies de arbustos, presentes na área, apresentam xilopódios, que permitem a rebrota após queima ou corte. Na época chuvosa os estratos subarbustivo e herbáceo tornam-se exuberantes devido ao seu rápido crescimento. As folhas

da vegetação em geral são rígidas e coriáceas. Em geral, a vegetação apresenta características de adaptação às condições de seca (RIBEIRO; WALTER, 1998).

Desde a década de 1940 essa área vem sendo cultivada com espécies do gênero *Eucalyptus*. Durante os anos de 1940 a 1992, predominou-se o cultivo com *Eucalyptus saligna*, sob manejo de talhadia, com a aplicação de poucos tratos silviculturais. Em 1992, a área passou por reforma, onde foi realizado o plantio de mudas seminais de *Eucalyptus grandis*. A colheita da madeira com corte raso foi realizada em 2004, seguido da instalação do experimento CIFOR II. A Figura 4 representa, esquematicamente, o histórico de ocupação da área de estudo.

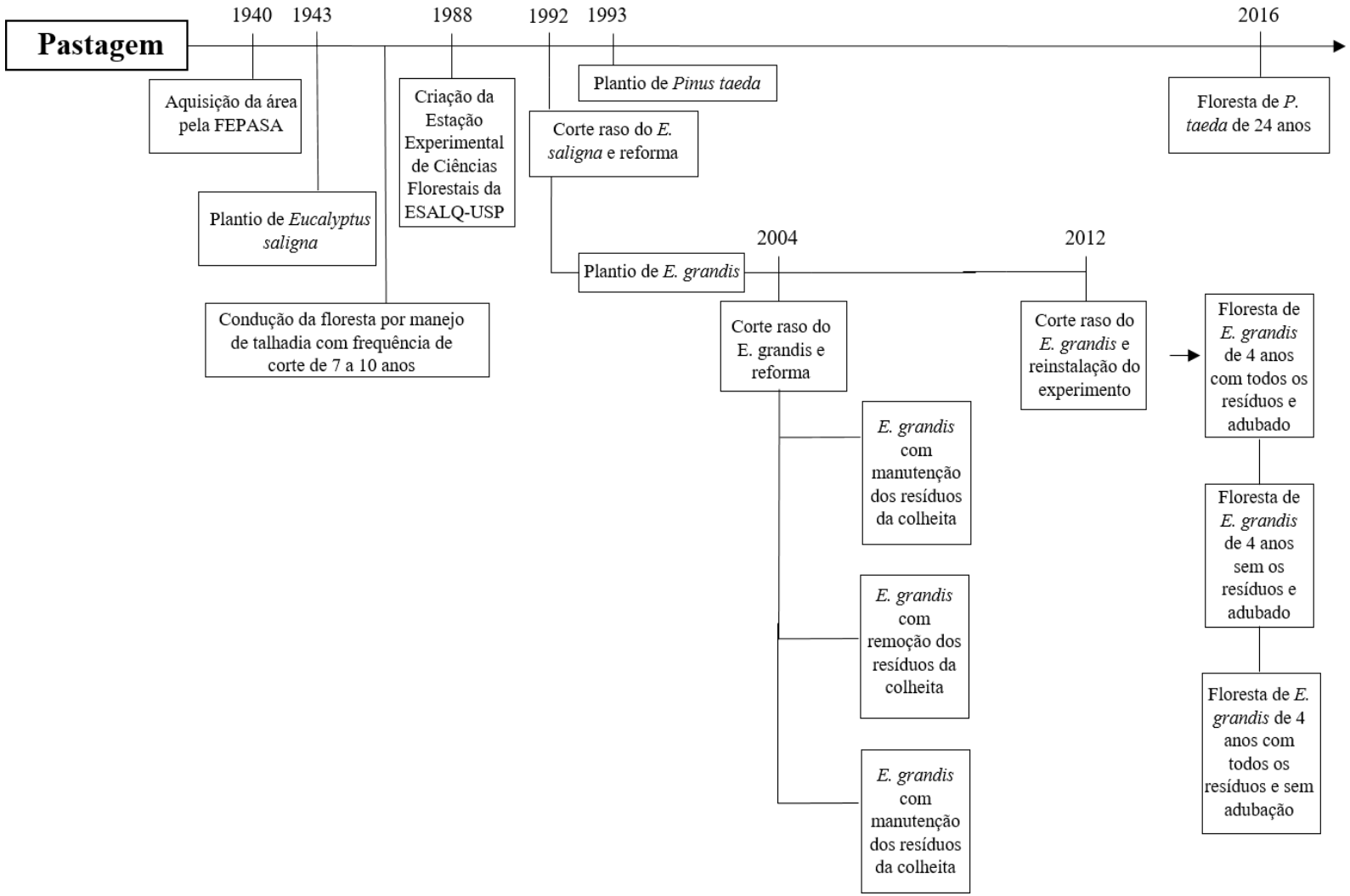
De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o Cfa, com temperatura média anual de 19,4 ºC, sendo a média do mês mais frio (julho) 15,6 ºC e a média do mês mais quente (janeiro) 22,3 ºC. A precipitação média anual é de 1319 mm, com 75% concentrada nos meses de outubro a março (ALVARES et al., 2013). A temperatura e a precipitação pluvial média do período de 2006 a 2016 está apresentada na Figura 3.

Figura 3 – Precipitação pluvial e temperatura média na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no período de dez anos (2006 a 2016)



Fonte: Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP)

Figura 4 – Esquema de uso do solo da Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP)



Fonte: O autor

A área experimental não apresenta mancha de solo, o relevo é classificado como plano a suave ondulado. O solo é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura média, segundo classificação da Embrapa (2013). O material geológico da área de estudo é do período Cretáceo, de litologia arenítica, formação Marília, Grupo Bauru. Na Tabela 3 está descrita a granulometria da área experimental.

Tabela 3 – Análise granulométrica do solo da área experimental

Camada	**Areia**	**Silte**	**Argila**
cm		g kg^{-1}	
0 – 10	802	22	175
10 – 20	811	12	176
20 – 30	790	34	176
30 – 40	777	23	200
40 – 60	747	14	239
60 - 100	712	12	276

Fonte: Rocha (2014).

3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi instalado em 2004, logo após o corte raso de um povoamento de *Eucalyptus grandis* de 12 anos de idade. Os tratamentos (Tabela 4) foram aplicados após o corte, efetuado o preparo de solo por coveamento a 40 cm de profundidade. Em junho de 2004, realizou-se o plantio das mudas de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden, produzidas por sementes de uma única progênie.

Os tratamentos avaliados neste estudo consistem em uma área natural e outros com diferentes intensidades de manejo dos resíduos florestais (permanência ou remoção de copa, casca e serapilheira) e com fertilização (NPK):

AR: Cerrado *Stricto sensu* (Descrição segundo Ribeiro e Walter, 1998 – Ver item 3.2).

CReCF: Colheita apenas da madeira sem casca; manutenção de todos os resíduos sobre o solo e com fertilização.

SPACF: Colheita de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização.

SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização.

Como resíduos florestais consideraram-se todos os resíduos orgânicos remanescentes sobre o solo após a colheita, como: copa (folhas e galhos), cascas e serapilheira (Tabela 2). Como referência foi avaliada uma área de vegetação nativa, localizada próxima ao experimento.

A fertilização aplicada no experimento foi composta pelos macronutrientes. Adicionalmente, aplicou-se 3,4 kg ha^{-1} de boro (B) e 30 kg ha^{-1} de micronutrientes tipo fritas (FTE BR 12; 9% Zn + 1,8% B + 0,8% Cu + 2% Mn + 3,5% Fe + 0,1% Mo), em todos os tratamentos.

A fertilização foi dividida em uma fertilização de base e duas fertilizações de cobertura. Na fertilização de base aplicou-se todo o fósforo recomendado, o FTE e 10 kg ha^{-1} de N e de K em duas covetas laterais a 10 cm das mudas. Durante o plantio foi efetuada a aplicação do calcário em toda área. Aos três e oito meses após o plantio foram efetuadas as fertilizações de cobertura (N, K e B), divididos em duas partes iguais. Os fertilizantes foram aplicados na superfície do solo em semicírculo na projeção da copa. A Tabela 5 apresenta os atributos químicos da área experimental.

Tabela 4 – Manejo de resíduos florestais de eucalipto aplicados em cada tratamento

Tratamento[1]	Resíduo florestal[2]			Fertilização			
	Copa	Casca	Serapilheira	$(NH_4)_2 SO_4$	P_2O_5	K_2O	KCl
				kg ha^{-1}			
CReCF	M	M	M	130	100	150	2000
SPACF	R	R	M	130	100	150	2000
SReCF	R	R	R	130	100	150	2000

CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização; SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização; SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização; [2]M = mantido sobre o solo, R = removido do local

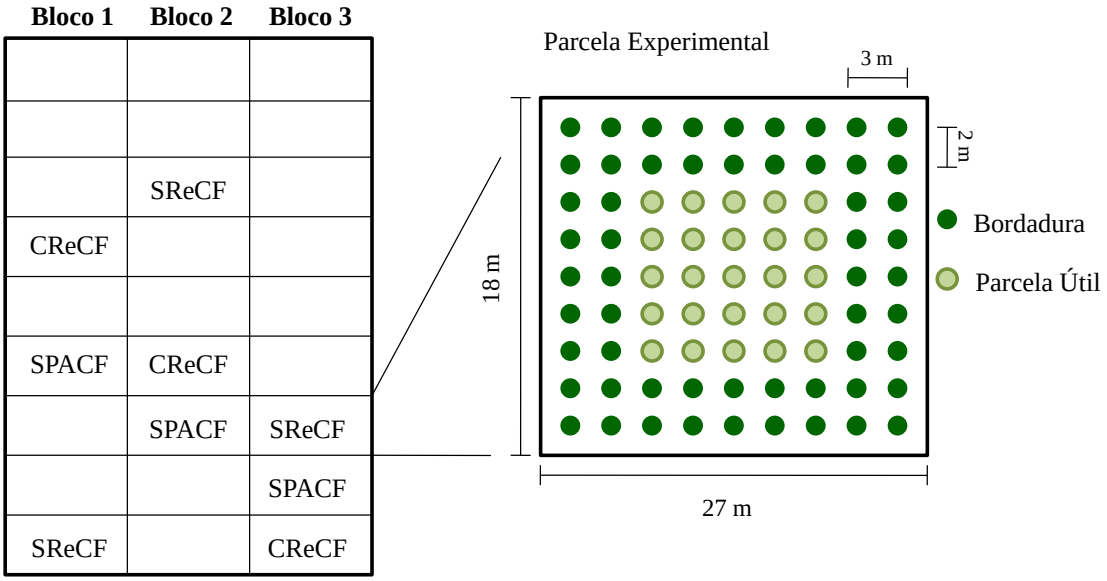
Tabela 5 – Atributos químicos do solo da área experimental

Camada (cm)	**pH[1]**	**CTC_{pH7}**	**P[2]**	**Cátions Trocáveis[2]**			
				K	**Ca**	**Mg**	**Al**
		mmolc kg^{-1}	mg kg^{-1}	mmolc kg^{-1}			
0 – 10	3,8	63,98	4	0,25	4,28	2,81	7,50
10 – 20	3,9	51,42	3	0,27	2,80	2,17	8,43
20 – 30	3,9	39,98	1	0,20	1,32	1,00	6,09
30 – 40	3,9	40,18	1	0,15	0,88	0,81	7,03
40 – 60	3,9	38,46	1	0,15	0,99	0,72	7,50
60 -100	3,9	32,72	1	0,15	0,66	0,54	6,56

[2] Determinado em $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1} na razão solo/solução de 1:5; (³) Extração com resina de troca iônica (Van Raij et al., 2001). Fonte: Rocha, 2014.

O experimento foi conduzido em um delineamento aleatorizado em blocos, com três tratamentos e três repetições (Figura 5). Cada parcela experimental é constituída por 81 plantas (9 linhas com 9 plantas) em espaçamento 3,0 m por 2,0 m. Para as avaliações, tem sido considerado como parcela útil 5 linhas com 5 plantas (25 plantas), respeitando-se uma bordadura dupla.

Figura 5 – Delineamento experimental do manejo de resíduos culturais em plantio de eucalipto em Itatinga, SP



CReCF – Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização; SPACF – Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização; SReCF – Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização. Fonte: O Autor

No ano de 2012, as árvores foram colhidas e o experimento foi reinstalado nas mesmas parcelas. Durante a colheita, todos os resíduos de cada parcela permaneceram sobre as mesmas e a condução do experimento foi similar ao da primeira rotação de cultura. A Tabela 6 apresenta as quantidades de resíduos mantidos em cada tratamento na primeira e segunda rotação.

Tabela 6 – Biomassa de resíduos florestais (RF) acumulada sobre o solo após a colheita, volume de madeira e deposição de serapilheira na primeira (R1) e segunda (R2) rotação

Quantidade de resíduos, volume de madeira e deposição de serapilheira	Tratamentos		
	CReCF	SPACF	SReCF
RF mantidos sobre o solo em 2004 (Mg ha^{-1})[(1)]	51 (3) [(3)]	24 (1)	0
RF mantidos sobre o solo em 2012 (Mg ha^{-1}) [(1)]	49 (2)	22 (1)	0
Volume de madeira aos 8 anos na R1 (m^3 ha^{-1}) [(2)]	430 (5)	403 (3)	396 (4)
Volume de madeira aos 3.5 anos na R2 (m^3 ha^{-1}) [(2)]	199 (2)	176 (1)	171 (3)
Deposição de serapilheira do 0.5 aos 3.5 anos na R2 (Mg ha^{-1}) [(2)]	13 (2)	13 (1)	13 (4)

[(1)]Adaptado de Menegale et al. (2016); [(2)]Dados não publicados; [(3)]Desvio padrão

3.5 Coleta de amostras de serapilheira e do solo

3.5.1 Serapilheira

As amostras de serapilheira foram coletadas nos três blocos do experimento, nos meses de fevereiro e março de 2016 (quarto ano do segundo ciclo de rotação da cultura). Para a coleta, utilizou-se um coletor circular de aço com 700cm² (Figura 6). Em cada bloco coletou-se cinco amostras por tratamento, totalizando quarenta e cinco amostras. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar, a 55º C, até obtenção de massa constante. Em seguida, foram pesadas e moídas para determinação das análises químicas.

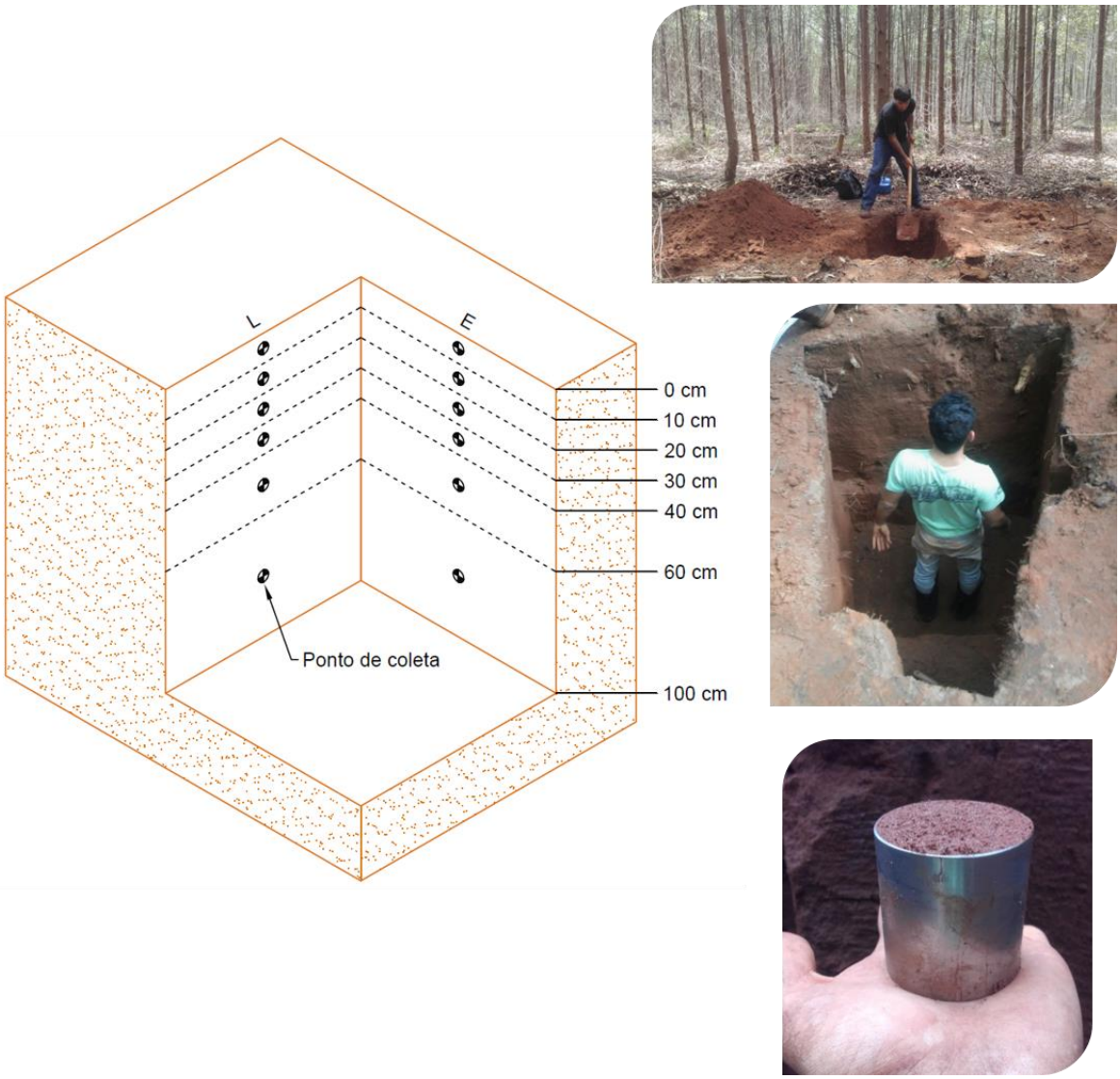
Figura 6 – Coletor circular utilizado nas coletas de amostras de serapilheira

Fonte: O Autor

3.5.2 Coleta de amostras de solo

As amostras deformadas e indeformadas foram coletas nas camadas 0-10. 10-20, 20-30, 30-40, 40-60 e 60-100 cm. Para a obtenção das amostras indeformadas foram abertas trincheiras, sendo uma por tratamento, em cada um dos três blocos. As coletas foram realizadas, com auxílio de um anel volumétrico, em duas das paredes da trincheira (na linha e na entre linha do plantio) totalizando três pontos por tratamento (Figura 7).

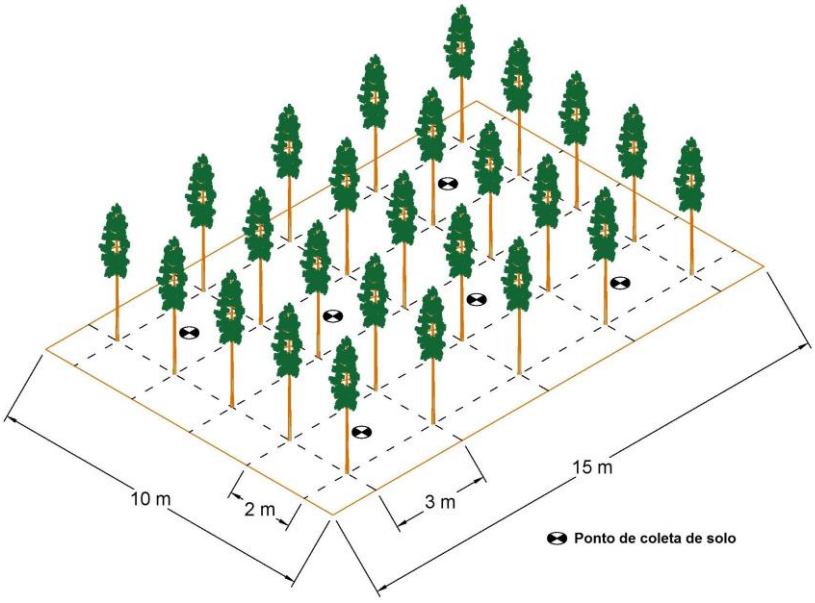
Figura 7 – Metodologia de coleta das amostras indeformadas de solo em trincheira, com auxílio de cilindros de metal para determinação da densidade do solo



L = linha do plantio; E = entrelinha do plantio
Fonte: O Autor

As amostras foram coletadas com trado holandês, com os pontos de coleta das amostras deformadas dispostos diagonalmente na área, para cada tratamento (Figura 8). A amostragem foi realizada com seis amostras simples para formar uma composta, em cada uma das áreas; totalizando três amostras por tratamento. As amostras seguiram para o laboratório, onde foram em estufa de circulação forçada de ar a 60°C, em seguida homogeneizadas e passadas em peneira de 2 mm (TFSA). Após o preparo da TFSA, sub-amostras de 20 a 80 mg foram maceradas e peneiradas a 100 mesh, para posterior análise de de C, N, S, ^{13}C e ^{15}N

Figura 8 – Disposição dos pontos de coleta das amostras deformadas de solo (n=6) para composição de 1 amostra composta para cada tratamento



Fonte: O autor

3.6 Análises

3.6.1 Teor elementar e isotópico de C, N na serapilheira e no solo

As concentrações de C e N totais foram quantificadas com o auxílio de um analisador elementar "Carlo Erba / CHN-1110" por combustão a seco e as determinações das variações isotópicas $^{13}C/^{12}C$ e do $^{15}N/^{14}N$ por espectrometria de massa (Thermo Scientific / Delta Plus), realizadas no Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/USP.

Neste equipamento, as amostras de solo são convertidas em gases através da combustão a seco, em um forno a 1030°C, sob a ação de reagentes oxidantes e de um pulso de oxigênio ultrapuro, gerando gases de N_2 e CO_2, com o nitrogênio e carbono da amostra,

respectivamente. Esses gases são purificados no analisador elementar para eliminação de subprodutos da combustão, tais como óxidos de enxofre, de nitrogênio e água, e separados em uma coluna cromatográfica, sob uma atmosfera inerte de hélio ultrapuro (gás de arraste). A determinação das razões isotópicas é feita de acordo com suas massas isotópicas por meio da separação das moléculas em um campo magnético (BARRIE; PROSSER, 1996).

Os resultados são expressos em massa para os teores elementares, e para os teores isotópicos na forma de desvios ($\delta^{13}C$ (‰) e $\delta^{15}N$ (‰)) em relação ao padrão internacional VPDB e à composição atmosférica, respectivamente, conforme Equação 1. Para as análises de carbono e nitrogênio na serapilheira foi adotado o padrão interno vegetal (C = 43,8 %, N = 0,88%) e para as análises de solo o padrão interno de solo do laboratório de Ecologia Isotópica (C = 1,63 %, N = 0,15%).

É importante ressaltar que o erro analítico aceitável para os teores de carbono e nitrogênio é de 0,3 e 0,1%, respectivamente. Já para a razão isotópica, aceita-se um erro analítico de no máximo 0,2 ‰.

$$\boldsymbol{\delta} = \frac{[\boldsymbol{R\ amostra} - \boldsymbol{R\ padrão}]}{\boldsymbol{R\ padrão}} \qquad \textbf{Equação (1)}$$

Onde:

δ: Isótopo (‰)

$R_{amostra}$: Razão isotópica da amostra (^{13}C:^{12}C e ^{15}N:^{14}N)

$R_{padrão}$ C: Razão isotópica do padrão (V-PDB)

$R_{padrão}$ N: Ar atmosférico

3.6.2 Teor elementar de enxofre na serapilheira e no solo

A análise do teor elementar de enxofre na serapilheira e no solo foi realizada nas mesmas condições de coleta e preparo de solo descrito no item 3.5. As concentrações totais de S foram quantificadas por combustão a seco (1000° C), com o auxílio de um analisador LECO S144-DR com o padrão LECO 502 – 274 de trigo (S = 0,205%) e LECO de solo 502-308 (S = 0,031%), no Laboratório de Ciclagem de Nutrientes do CENA/USP.

3.6.3 Estimativa dos estoques de C, N e S na serapilheira

Os estoques de C, N e S na serapilheira foram calculados utilizando a massa seca (kg) das amostras multiplicado pela área do coletor, em hectare. Posteriormente, multiplicou-se pelos teores de C, N e S e os resultados foram expressos em Mg ha^{-1}.

3.6.4 Densidade e estimativas dos estoques de C, N e S no solo

A densidade do solo foi determinada a partir de amostras indeformadas coletadas em cada camada das camadas do solo, anteriormente descritas (BLAKE; HARTGE; 1986). As amostras foram secas em estufa a 105ºC, durante 24 horas. Após esse período, a massa de solo foi avaliada novamente para a realização do cálculo, conforme a equação 2.

$$\boldsymbol{\rho = \frac{Ms}{Vt}} \qquad \textbf{Equação (2)}$$

Onde:

ρ = densidade da mostra ($g.cm^{-3}$)

Ms = massa do solo seca (g)

Vt = volume total do anel (cm^3)

Para o cálculo dos estoques de C, N e S do solo usou-se os teores de C, N e S do solo, densidade do solo e espessura da camada amostrada do solo de acordo com a equação 3 (BERNOUX et al., 1998). Um ajuste de massa foi realizado por camada e para isso, uma área de vegetação nativa foi utilizada como referência, conforme descrito por Ellert e Bettany (1995). Esse ajuste é necessário pois diferentes práticas de manejo podem alterar a densidade do solo, resultando em variações nas camadas que representam a mesma massa de solo. A correção para a mesma massa de terra consiste em encontrar uma nova profundidade para cada área, a fim de que a nova profundidade represente a mesma massa de solo em todas as áreas. Os estoques foram calculados para cada uma das camadas, e em seguida foi calculado o estoque para os intervalos de 0-40 e 0-100 cm.

$$E = \frac{\rho \; x \; h \; x \; (C, N \; ou \; S)}{10}$$ **Equação (3)**

Onde:

E = estoque de carbono ou nitrogênio total do solo (Mg ha^{-1});

ρ = densidade do solo (g cm^{-3});

h = espessura da camada amostrada (cm);

C ou N ou S = teor de carbono ou nitrogênio ou enxofre total do solo (g kg^{-1}).

3.6.5 Qualidade da serapilheira

A caracterização dos compostos orgânicos da serapilheira foi determinada em amostras simples. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do CENA/USP, com auxílio de um determinador de fibra TE-149. Os teores de celulose e hemicelulose foram quantificados pelo método de fibras em detergente neutro (FDN) e em detergente ácido (FDA), e o teor de lignina por detergente ácido (LDA), conforme metodologia proposta por AOAC, 2011(ID 973.18 e ID 2002.04 - Detalhes do método ver Anexo I).

3.6.6 Índices de qualidade da serapilheira

A qualidade do material foi avaliada a partir das relações C/N, lignina/N e lignina + celulose/N. Os índices de susceptibilidade à decomposição foram definidos segundo as equações (4) e (5).

a) Quociente holocelulose / lignocelulose (CORTEZ et al., 1996)

$$QCL = \frac{hemicelulose + celulose}{hemicelulose + celulose + lignina}$$ **Equação (4)**

b) Índice ligno-celulósico (MELILLO et al., 1989)

$$ILC = \frac{lignina}{lignina + celulose}$$ **Equação (5)**

3.7 Análises estatísticas

Para a realização das análises estatísticas dos dados de solo, os resultados obtidos em cada sistema de manejo de resíduos foram comparados entre as camadas avaliadas e para as análises de material vegetal os resultados foram comparados entre os sistemas de manejo adotados. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocesdasticidade (Teste de Hartley) e quando necessário realizou-se transformações do tipo “boxcox” para as variáveis que não apresentavam distribuição normal. Uma análise de variância (ANOVA) foi realizada para identificar as diferenças entre os fatores estudados no experimento e quando significativo aplicou-se o teste de Fisher (LSD) para comparação das médias. Os dados foram analisados no pacote estatístico R (Versão 3.4) adotando um nível de significância de 0,05.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Serapilheira

4.1.1 Teor de carbono, nitrogênio e enxofre na serapilheira

Ao comparar os efeitos dos diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais sobre a serapilheira acumulada na área de estudo, observou-se que o tratamento SReCF, onde houve completa remoção de resíduos, apresentou menor valor (7,1 Mg ha^{-1}), sendo, em média, 2,5 Mg ha^{-1} menor em relação aos tratamentos SPACF (onde foram deixadas sobre o solo apenas a serapilheira) e CReCF (onde todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo). Quando comparado a área de referência, o tratamento SReCF apresentou 4 Mg ha^{-1} a menos de serapilheira acumulada (Tabela 7). A quantidade de serapilheira acumulada de eucalipto foi considerada baixa em relação ao observado por Pulrolnik (2007), que obteve cerca de 13,8 t ha. Em relação a AR, Vieira (1998) observou que a serapilheira acumulada sob vegetação de Cerrado em Itatinga (SP), foi cerca de 11 t ha^{-1}, valor bem próximo ao observado na presente pesquisa.

Tabela 7 – Serapilheira acumulada em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Tratamentos	**Estoque de Serapilheira (Mg ha^{-1})**
AR (n=9)	11,7 A
SPACF (n=15)	9,6 B
CReCF (n=15)	9,1 B
SReCF (n=15)	7,1 C

Médias (n=15± erro padrão) seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK.

Em relação ao teor de nitrogênio na serapilheira (Tabela 8), o tratamento SReCF diferenciou dos demais, apresentando o menor valor (8,5 g kg^{-1}), sendo que a área de referência apresentou o teor mais elevado de N (10,2 g kg^{-1}). Não houve diferenças significativas entre os teores de carbono e enxofre na serapilheira. Porém, a A.R apresentou maior teor de carbono (499,9 g kg^{-1}), enquanto que para o enxofre, o maior teor foi observado no tratamento SReCF (1,07 g kg^{-1}).

Tabela 8 – Teor médio de C, N e S e relação C/N e C/S na serapilheira em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Tratamentos	**C**	**N**	**S**	**C/N**	**C/S**
		(g kg^{-1})			
AR (n=9)	499,9 ± 3,7 A	10,27 ± 0,6 A	0,97 ± 0,12 A	49,8 ± 2,60 A	580,4 ± 57,8 A
SPACF (n=15)	473,2 ± 8,7 A	9,69 ± 0,3 A	0,95 ± 0,07 A	49,3 ± 1,58 A	523,3 ± 41,9 A
CReCF (n=15)	486,0 ± 7,7 A	9,77 ± 0,4 A	1,01 ± 0,07 A	50,8 ± 2,27 A	490,8 ± 37,2 A
SReCF (n=15)	484,7 ± 9,2 A	8,52 ± 0,3 B	1,07 ± 0,08 A	57,8 ± 2,32 B	539,0 ± 42,3 A

Médias (n=15± erro padrão) seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK.

A serapilheira acumulada desempenha um papel essencial no crescimento das plantas, pois influência nas propriedades físicas, biológicas e químicas dos solos, bem como aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (SYERS; CRASWEL, 1995; GARAY; ANDRADE; KINDEL, 2001). Em solos de baixa fertilidade, a deposição da serapilheira torna-se a principal fonte de carbono orgânico e nutrientes para o crescimento da planta (CALDEIRA et al., 2008). A folha é o órgão com maior concentração de S, apresentando entre 0,5 a 1,5 g kg^{-1}. Nos galhos, casca e lenho a concentração varia de 0,2 a 0,7 g kg^{-1}. Neste sentido, a serapilheira torna-se uma importante entrada de enxofre para o solo (ROCHA, 2014). Kolm e Poggiani (2003) avaliaram a deposição e a concentração de nutrientes na serapilheira de um plantio de *E. grandis* e observaram que o teor de S foi cerca de 0,5 g Kg^{-1}, valor inferior aos registrados no presente estudo para a mesma época de coleta.

Em um povoamento de eucalipto, com dois ciclos de cultivo, o teor de carbono nas folhas foi maior do que nos galhos fino e galhos grossos (PULROLNIK, 2007). Em ambientes com condições restritivas ao crescimento, devido à baixa fertilidade, maior proporção do C fixado é alocado para o sistema radicular (REIS; REIS, 1995; STAPE; RYAN; BINKLEY, 2002). A taxa de decomposição da serapilheira em plantios de eucalipto é baixa, acarretando acúmulo de material orgânico e aumento da quantidade de nutrientes na interface serapilheira-solo (ADAMS; ATTIWIL, 1986; GAMA RODRIGUES; BARROS, 2002) o que representa um estímulo ao crescimento radicular entre as folhas em decomposição. O aporte substancial de material orgânico sobre o solo, na área de referência, pode ter influenciado diretamente nos teores de carbono e nitrogênio e contribuído para que esta área apresentasse os maiores

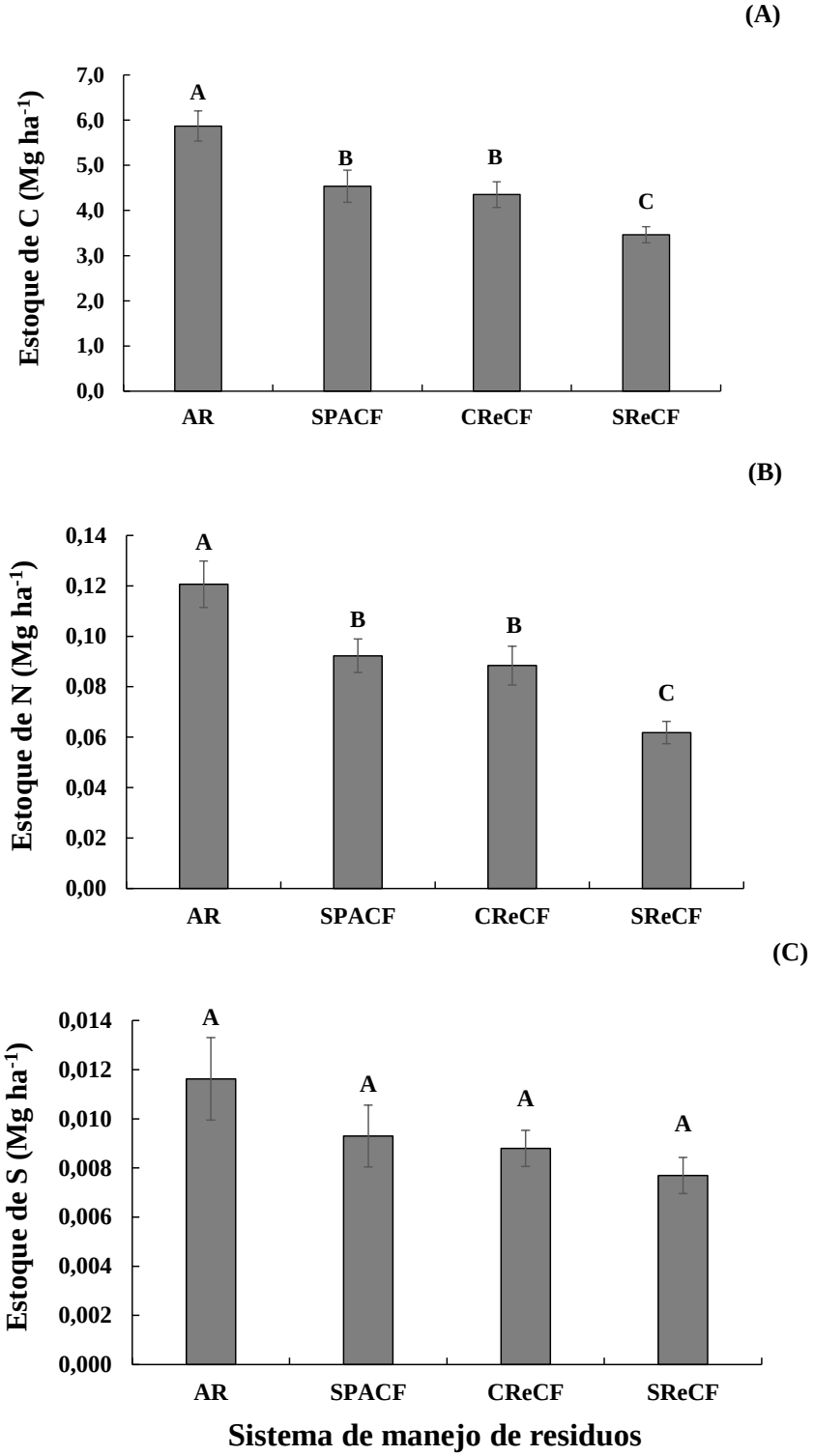
valores, quando comparada aos demais tratamentos. Em plantações de eucalipto, o retorno de nitrogênio ao solo pode variar entre 18 e 140 kg ha^{-1} ano^{-1} (REIS; BARROS, 1990). Kolm e Poggiani (2003) registraram teores de N na serapilheira em torno de 7 g Kg^{-1} em plantio de *E. grandis* com vinte anos.

4.1.2 Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre na serapilheira

Os maiores estoques de carbono, nitrogênio e enxofre (Figura 9) foram observados na área de referência, com cerca de 5,9 Mg ha^{-1}, 0,12 Mg ha^{-1} e 0,012 Mg ha^{-1}, respectivamente. Dentre os tratamentos avaliados, aquele onde se manteve apenas a serapilheira sobre o solo (SPACF) obteve os maiores estoques de carbono e enxofre (4,5 Mg ha^{-1} e 0,009 Mg ha^{-1}), em contrapartida, os menores estoques foram observados no tratamento onde removeu-se todos os resíduos florestais (SReCF), com cerca de 3,4 Mg ha^{-1} e 0,007 Mg ha^{-1}. Os teores de C e N foram semelhantes entre os tratamentos SPACF e CReCF e diferentes do SReCF, sendo que a A.R diferiu de todos. Não foram observadas diferenças significativas para os teores de S entre os tratamentos e nem em relação à área de referência.

Ao avaliar os estoques de nutrientes na biomassa de um povoamento de *Eucalyptus dunnii* DICK et al. (2016) observaram que as folhas apresentavam os maiores estoques de N (0,06 Mg ha^{-1}) e S (0,004 Mg ha^{-1}) quando comparados aos demais componentes. A quantidade de serapilheira acumulada sobre o solo em um plantio de *Eucalyptus urophylla*, com cinco anos de idade, foi cerca de 13,1 Mg ha^{-1}. Desse total, a quantidade de carbono e nitrogênio estocados na serapilheira foi de 5.6 Mg ha^{-1} e 0,08 Mg ha^{-1}, respectivamente (BARBOSA et al., 2017). Os estoques de C, N e S encontrados por esses autores corroboram com os obtidos na presente pesquisa. Ao avaliar um plantio de *E. urophylla*, com 20 anos, observou-se que os estoques de C e N foram cerca de 4 Mg ha^{-1} e 0,04 Mg ha^{-1}, respectivamente (PULROLNIK, 2007). O estoque de N relatado por Pulronilk (2007) está abaixo do valor observado nesse estudo.

Figura 9 – Estoque de carbono (A), nitrogênio (B) e enxofre (C) na serapilheira em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016



Médias (n=15± erro padrão) seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

4.1.3 Concentrações isotópicas de C ($\delta^{13}C$) e N ($\delta^{15}N$) na serapilheira e no solo

O $\delta^{13}C$ da serapilheira não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos analisados (CReCF = -29,3 ‰; SPACF = -29,4 ‰; SReCF = -29,4 ‰; e A.R = -29,1 ‰). Por se tratar de uma única espécie vegetal analisada e por pertencer ao grupo de plantas do ciclo fotossintético C_3, os valores obtidos estão coerentes com os citados na literatura. A composição isotópica de N ($\delta^{15}N$) da serapilheira foi maior na área de referência (AR = 1,22 ‰) e menor no tratamento CReCF (0,54 ‰). A área de referência e os tratamentos SReCF e SPACF foram semelhantes entre si, diferindo apenas do tratamento CReCF
(Tabela 9).

Os tecidos das plantas C_3 apresentam valores médios de $\delta^{13}C$ em torno de -28 ‰ enquanto que plantas do tipo C_4 possuem valores médios de -12 ‰. Esses valores são muito mais negativos que os encontrados no CO_2 atmosférico, cerca de -7,4 ‰. Maiores valores de $\delta^{13}C$ sugerem menor discriminação contra o ^{13}C devido a menores valores de CO_2 intercelular e maior eficiência no uso da água (FARQUHAR et al., 1982; BUCHMANN; KAPLAN, 2001). A excelente ciclagem bioquímica das espécies do gênero eucalipto pode ter influenciado nos resultados de $\delta^{15}N$, uma vez que a partir da migração de N para as folhas mais novas da planta há uma preferência pelo isótopo de N^{14} em detrimento do N^{15}. É interessante ressaltar que a AR atua como um concentrador de $\delta^{15}N$ enquanto que os tratamentos SPACF e CReCF agem como diluidor.

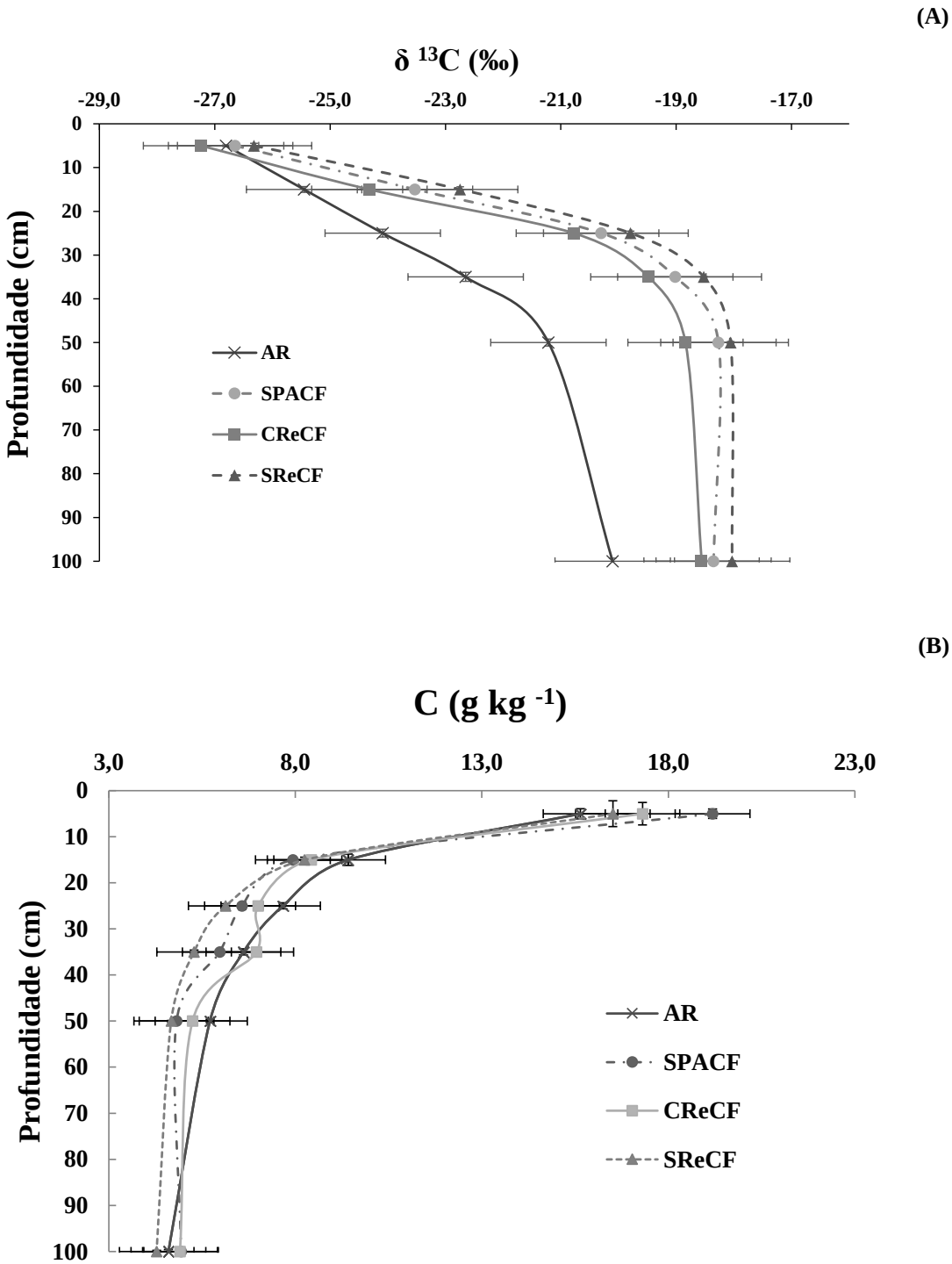
Tabela 9 - $\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$ da serapilheira de um plantio de *E. grandis* submetido a diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais em Itatinga – SP

Tratamentos	**$\delta^{13}C$**	**$\delta^{15}N$**
	‰	
AR	-29,1 ± 0,1 A	1,22 ± 0,3 A
SPACF	-29,4 ± 0,1 A	0,80 ± 0,0 BC
CReCF	-29,3 ± 0,1 A	0,54 ± 0,1 C
SReCF	-29,4 ± 0,1 A	1,14 ± 0,1 AB

Médias (n=15± erro padrão) seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK.

Os valores de $\delta^{13}C$ nas camadas 0-10 e 10-20 cm não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 10). Nessas camadas, os valores de $\delta^{13}C$ variaram de -27,2 a - 22,7 ‰. A partir de 20 cm de profundidade, a área de referência diferiu dos demais tratamentos, porém não houve diferenças entre os plantios de eucalipto (Figura 10). Os valores de $\delta^{13}C$ fracionaram consideravelmente a partir dos 30 cm de profundidade, com valores variando de -20,8 a -18,5 ‰, enquanto que aos 100 cm os valores variaram de 18,6 a 18 ‰, no plantio de eucalipto. Na área de referência, os valores de $\delta^{13}C$ variaram de -26,8‰, a -20,1‰. Os valores de $\delta^{13}C$ do solo apresentaram relação inversa com o teor de C total (Figura 10). Menores valores de $\delta^{13}C$ observados na superfície do solo em relação às camadas mais profundas estão relacionados a maiores concentrações de C.

Figura 10 – Distribuição de $\delta^{13}C$ (A) e teor de carbono (B) no perfil do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016



AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização

O sinal isotópico do solo das áreas de estudo reflete a composição da cobertura vegetal, formado por plantas de ciclo fotossintético C3, que apresentam abundância natural de $\delta^{13}C$ variando entre -33‰ a -22 ‰ (GUARESCHI; PEREIRA; PERIN, 2014). O aumento da abundância natural de $\delta^{13}C$ em profundidade pode ser atribuído tanto a migração e realocação das partículas de argila, que possuem maior valor de $\delta^{13}C$, resultando no aumento dos valores de $\delta^{13}C$ em profundidade, quanto pelo processo de decomposição de resíduos orgânicos com diferentes assinaturas de $\delta^{13}C$, como por exemplo, a celulose e hemicelulose, sendo de 1 a 2‰ mais enriquecidos em $\delta^{13}C$, enquanto que a lignina é 2 a 6 ‰ inferior em relação ao valor $\delta^{13}C$ do tecido da planta (LIU et al., 2013). Outra explicação possível é a existência de uma paleovegetação de plantas C_4, comuns nos solos do estado de São Paulo (MARTINELLI et al., 1996; 1999). É interessante lembrar que o presente estudo está localizado em área onde o cerrado é a principal tipologia vegetacional, sendo assim valores de $\delta^{13}C$ considerados intermediários são comumente relatados na literatura para esse tipo de vegetação.

Os valores de $\delta^{15}N$ nas camadas 0-10 e 10-20 cm não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 11). Em contrapartida, nas demais camadas a área de referência mostrou-se significativamente diferente dos demais tratamentos. A presença de espécies fixadoras de N na área de referência pode ter contribuído para a redução dos valores de $\delta^{15}N$ do solo, uma vez que essas plantas utilizam o N atmosférico, cujo sinal isotópico é zero. A abundância natural de ^{15}N aumentou em profundidade em todos os tratamentos (Figura 11). O aumento da abundância de ^{15}N ao longo do perfil do solo é um padrão clássico de ocorrência nos solos (NADELHOFFER; FRY, 1988; PICCOLO et al., 1994; 1996). Tal fato está relacionado à preferência por ^{14}N sobre o ^{15}N durante a nitrificação ou desnitrificação, resultando em baixa abundância de ^{15}N nos produtos dessas reações e consequentemente em um enriquecimento na abundância nos resíduos (NADELHOFFER; FRY, 1988).

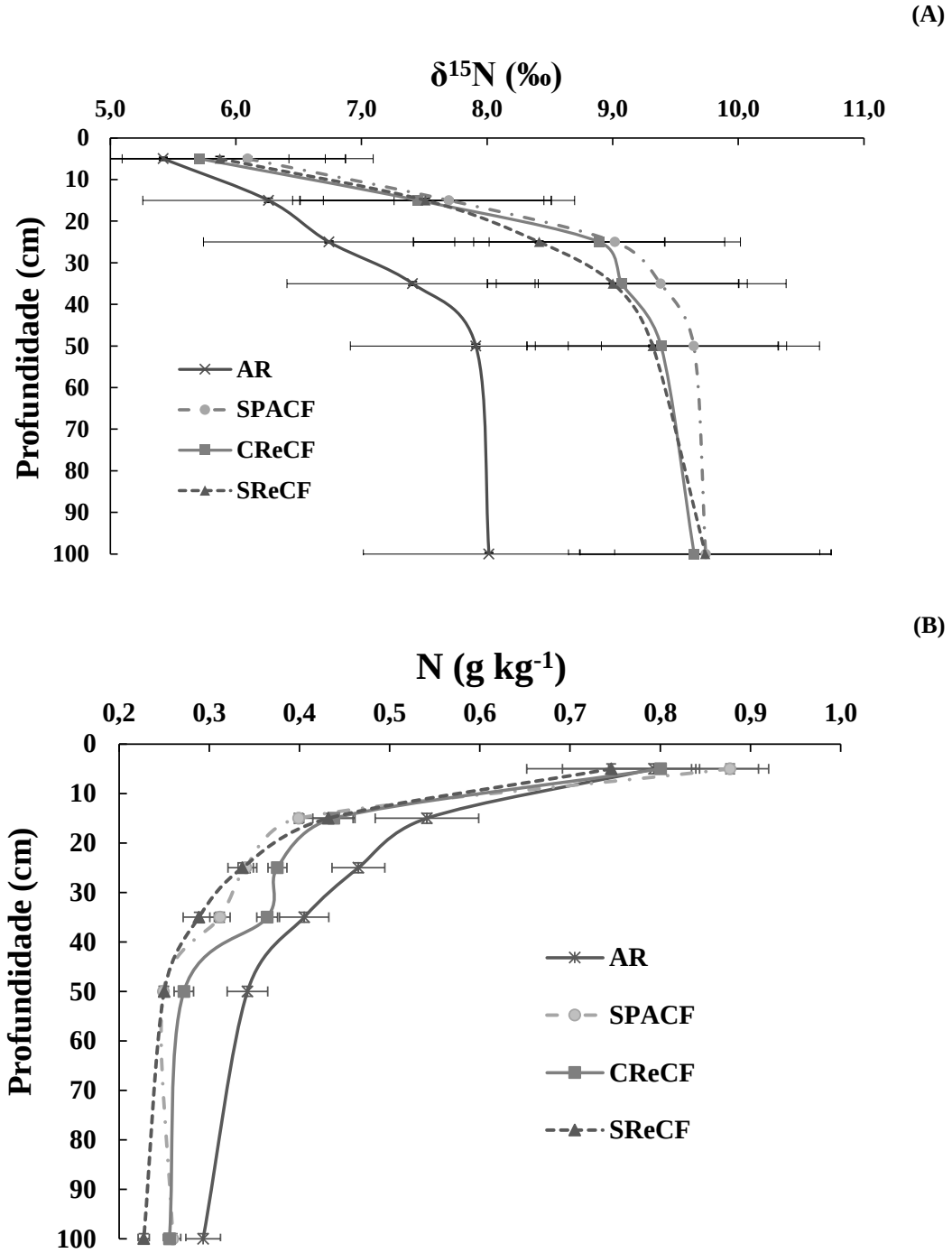
Em estudo de caracterização de solo e serapilheira em floresta tropical, Martins (2010) observou diferentes valores de $\delta^{15}N$ para a vegetação e para o solo, de acordo com o gradiente altitudinal da Mata Atlântica. O solo reflete o sinal isotópico da vegetação presente e vice-versa, em função dos mecanismos de liberação de $\delta^{15}N$ da serapilheira para a matéria orgânica do solo. Esse autor também notou enriquecimento na abundância natural de $\delta^{15}N$ no perfil do solo, visto que a vegetação diminui a composição isotópica na interface serapilheira-solo. Rachid (2010) estudou a variação de $\delta^{15}N$ no solo em diferentes usos e

observou enriquecimento dos valores, mesmo em solos onde houve fixação biológica de N, sugerindo pequeno uso do N que teve como origem a fixação biológica.

O nitrogênio presente no material orgânico do solo tende a ser mais rico em ^{15}N se comparado aos tecidos da parte aérea, indicando uma discriminação microbiana durante o processo de decomposição. As diferenças no $\delta^{15}N$ entre a fonte de N e a planta são normalmente consequência de reações mediadas por enzimas que discriminam contra o isótopo de N mais pesado (^{15}N), como o processo de assimilação de NH^{4+} pela síntese de glutamina ou a assimilação de NO^{3-} pela redutase do nitrato (DAWSON et al., 2002).

Os valores de $\delta^{15}N$ do solo apresentaram relação inversa com a concentração de N total (Figura 11). Menores valores de $\delta^{15}N$ observados na superfície do solo em relação às camadas mais profundas estão relacionados a maiores concentrações de N. Resultado similar foi observado por Parron et al. (2004) ao avaliar a composição isotópica de nitrogênio no solo em uma mata de galeria no Distrito Federal.

Figura 11 – Distribuição de $\delta^{15}N$ (A) e teor de nitrogênio (B) no perfil do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016



A.R: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização

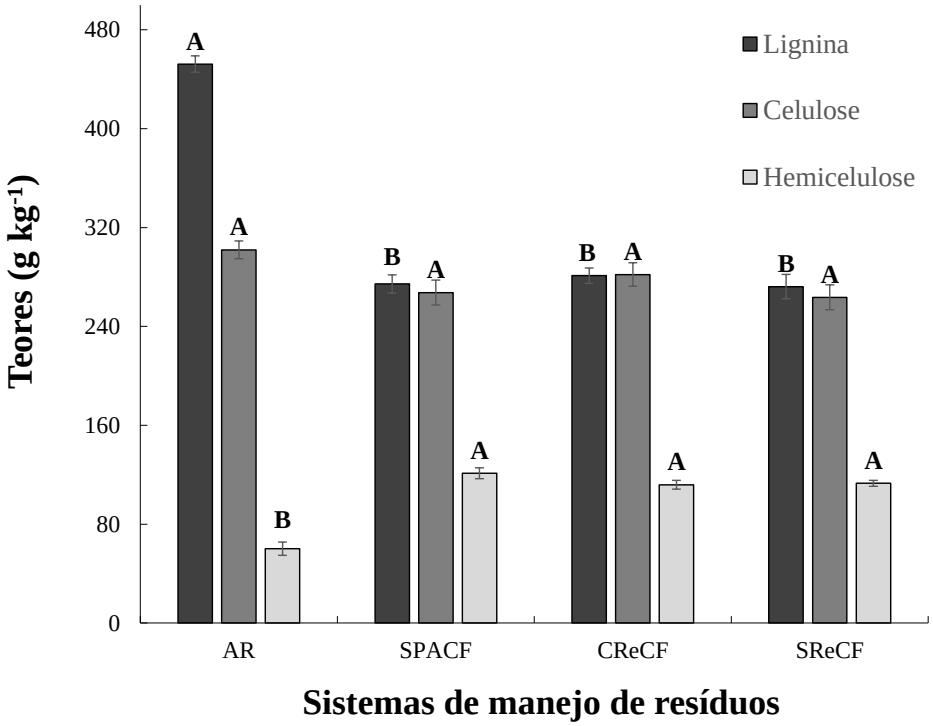
4.1.4 Composição de compostos orgânicos da serapilheira

- **Lignina, celulose e hemicelulose**

Em termos médios, o teor de lignina foi maior no tratamento CReCF (281,0 g kg^{-1} de matéria seca), em contrapartida, o tratamento SReCF apresentou o menor valor (272,2 g kg^{-1} de matéria seca) e o tratamento SPACF registrou valor intermediário (274,3 g kg^{-1} MS). A área de referência obteve valor superior aos encontrados entre os tratamentos analisados (452,3 g kg^{-1} MS). O teor de celulose foi maior no tratamento CReCF (282,0 g kg^{-1} MS), menor no tratamento SReCF (263,6 g kg^{-1} MS) e intermediário no tratamento SPACF (267,4 g kg^{-1} de matéria seca). A área de referência apresentou valor superior aos dos tratamentos analisados (302,0 g kg^{-1} MS), conforme observado na Figura 12.

Em jovens plantações de eucalipto a serapilheira acumulada apresentou baixos teores de celulose e lignina, ao contrário em idades mais avançadas, o que confere maior nível de recalcitrância e maior resistência à decomposição desses resíduos na fase de maturidade dessas plantações (BARRETO et al., 2008; FARIA et al., 2008). Monteiro (2001) determinou na serapilheira de eucalipto de 20 anos teores médios de celulose e lignina bem próximos, e valores das relações lignina/N superiores aos observados no presente estudo. A maior concentração de lignina na AR está relacionada a um mecanismo de defesa da planta, com aumento na deposição de casca com o passar do tempo.

Figura 12 - Teor de lignina, celulose e hemicelulose na serapilheira em plantio de eucalipto na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016



Médias (n=15 ± erro padrão) seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Ao avaliar a decomposição da serapilheira foliar em plantio de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense foi observado que a liberação de celulose foi pequena no período de menor oferta hídrica, porém com acentuado aumento na estação chuvosa obtendo aproximadamente 55% de decomposição ao final do período (COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005). A serapilheira apresentou elevados teores iniciais de celulose, variando de 171-188 g kg^{-1}, indicando baixo potencial de decomposição, e com posterior redução da concentração ao final do período de decomposição, provavelmente associada à liberação da fração não ligada a lignina e a hemicelulose na parede celular (COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005). Carvalho et al. (2017), observaram que a decomposição das frações foliares foi menor no plantio de eucalipto, quando comparada a floresta semidecidual e a regeneração, provavelmente em virtude do maior conteúdo de polifenóis e lignina presentes em sua composição em comparação às espécies nativas (COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005; HEPP; DELANORA; TREVISAN, 2009).

Altos teores de lignina, polifenóis e celulose estão relacionados com a baixa taxa de decomposição, menor liberação de nutrientes e com maior acúmulo de serapilheira (SWIFT; HEAL; ANDERSON, 1979). A presença dessas frações orgânicas confere resistência ao material vegetal (BARRETO et al., 2008), dificultando a penetração de organismos decompositores por meio da parede celular (GALLARDO; MERINO, 1993).

A hemicelulose é um outro composto que apresenta controle sobre o processo de decomposição pois apresenta correlação negativa entre sua concentração inicial e a perda de massa da serapilheira (VIVANCO; AUSTIN, 2006; BARANTAL et al., 2011). Neste estudo, o teor de hemicelulose foi maior no tratamento SPACF (121,2 g kg^{-1} de matéria seca), seguido do tratamento SReCF (113,0 g kg^{-1} de matéria seca) e finalmente o CReCF (111,9 g kg^{-1} de matéria seca). Na área de referência, o teor de hemicelulose foi menor do que nos tratamentos (60,2 g kg^{-1} de matéria seca).

4.1.5 Índices de qualidade da serapilheira

- **Relação lignina/N e lignina+celulose/N da serapilheira**

O maior valor da relação lignina/N foi observado na área de referência, enquanto que o tratamento SPACF registou o menor. Os tratamentos CReCF e SPACF foram semelhantes entre si, diferindo significativamente do SReCF. A área de referência diferiu de todos os tratamentos com manejo de resíduos (Tabela 11). O baixo teor de N na serapilheira do tratamento SReCF é um indicativo da baixa qualidade desse material, uma vez que a degradação da lignina é diretamente influenciada pela quantidade de N na serapilheira. A Adição de N incrementa a decomposição de material com baixa lignina e retarda a degradação da serapilheira com alta concentração do composto por meio da supressão das enzimas envolvidas na degradação da lignina (PRESCOTT, 2010).

Em plantios de eucalipto, menores valores das relações celulose/N e lignina/N ocorrem em idades jovens, e a medida que esses plantios atingem a maturidade ocorre aumento desses índices (BARRETO et al., 2008; FARIA et al., 2008), conferindo maior nível de recalcitrância e por consequência maior resistência a decomposição desses resíduos (COSTA; GAMA-RODRIGUES; CUNHA, 2005; MONTEIRO; GAMA-RODRIGUES, 2004). Diversos estudos demonstram que as folhas de eucalipto são decompostas lentamente, resultando na acumulação e formação de um estoque significativo de nutrientes, especialmente de P e N, na serapilheira acumulada sobre a superfície (ADAMS; ATWILL,

1986; O‘CONNELL, 1988; LOUZADA et al., 1997; GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002).

Os teores de C solúvel, celulose, lignina e a relação lignina/N no material vegetal são indicadores mais específicos para o decaimento do material vegetal (BERG; EKBOHM; McCLAUGHERTY, 1984; AITA; GIACOMINI, 2007). Estes componentes do material não têm a mesma ação na decomposição: os compostos de C solúveis reagem positivamente à decomposição e à perda de massa; diversamente, a celulose e a lignina ocasionam o efeito oposto (VIVANCO; AUSTIN, 2006). A lignina é o biopolímero vegetal mais abundante, com alto peso molecular e apresenta complexa estrutura tridimensional com unidades aromáticas e capacidade de formar complexos com os argilominerais no solo. Essas características da lignina lhe conferem características recalcitrantes e uma extensa rota de degradação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Quando se trata de decomposição, o parâmetro lignina/N é considerado um importante indicador dos atributos químicos do material vegetal. John, Orwin e Dickie (2011) estimaram a qualidade do material vegetal pela relação lignina/N e encontraram correlação positiva entre material de menor relação lignina/N e a velocidade de decomposição. Tais autores utilizaram essa mesma relação para demonstrar o predomínio na comunidade de decompositores (bactérias ou fungos) e encontraram maior diversidade de bactérias no material de menor relação lignina/N (espécies de gramíneas) em relação a espécie arbórea (*Kunzea ericoides*), de maior relação lignina/N.

- **Relação C/N e C/S da serapilheira**

A relação C/N da serapilheira foi maior no tratamento onde todos os resíduos florestais foram removidos (SReCF = 57,8) e menor no tratamento em que apenas a serapilheira foi mantida sobre o solo (SPACF = 49,3). Diferenças significativas foram observadas entre o tratamento SReCF em comparação aos demais (Tabela 8).

A remoção dos resíduos florestais reduziu as concentrações de nitrogênio disponíveis, provocando, consequentemente, um aumento na relação C/N, ao passo que a manutenção da serapilheira sobre o solo contribui para a redução dos valores da relação C/N, em virtude da considerável massa de serapilheira no tratamento SPACF (9.608,6 kg ha^{-1}) e da quantidade de nitrogênio presente, sobretudo na fração das folhas.

Nos estágios iniciais de decomposição de materiais orgânicos, a relação C/N torna-se um importante índice para a predição da perda de massa e da liberação de N (TAYLOR; PARKINSON; PARSONS, 1989). Bachega (2012) encontrou valores de relação C/N

variando de 52 a 70 em plantio de *E. grandis*. Em povoamento de *E. urophylla*, a relação C/N foi de 66, sendo que a folha foi a principal componente da serapilheira. (Barbosa et al., 2017). Os teores de N e S são limitantes para o processo de mineralização, em razão de suas relações com o carbono estarem acima da faixa ideal descrita por Stevenson (1986).

Os valores de relação C/N, para eucalipto, obtidos na presente pesquisa correspondem aos encontrados na literatura. Elevadas relações C/N ocasionam a imobilização do N mineral, que pode ser uma situação temporária, na qual os próprios organismos responsáveis pela decomposição param a nitrificação por falta de substrato. Assim, quando a relação C/N apresenta valores entre 20 e 30, há um equilíbrio entre os processos de mineralização e de imobilização de N, e quando o valor é superior a 30, a imobilização é superior à mineralização (SIQUEIRA; FRANCO, 1988).

De acordo com a literatura, materiais com alta relação C/N (superior a 40) apresentam limitação de N durante a decomposição, pois os microrganismos decompositores possuem relação C/N menor (entre 5 e 17) (PAUL; CLARK, 1996). Entretanto, Zhang e Wang (2012) em seu trabalho de decomposição em plantio de *Cummighamia lanceol*ata com serapilheira da própria espécie e de *Alnus cremastogune*, observaram que a perda de massa foi maior no material nativo do que nos outros tipos de serapilheira com menor relação C/N. Da mesma forma que Hättenschwiler e Jorgensent (2010) não observarem correlação entre a relação C/N e a perda de massa na mistura de serapilheira na Floresta Amazônica.

A maior relação C/S foi observada na área de referência (580,4) e a menor no tratamento onde todos os resíduos foram mantidos sobre o solo (CReCF = 490,8). Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos avaliados (Tabela 8). De forma geral, a serapilheira é pobre em S, apresentando alta relação C/S (700/1 a 2000/1), o que resulta em imobilização de S no início do processo de decomposição. As folhas apresentam relação C/S de aproximadamente 600/1 e, os galhos, 2500/1. Tal relação pode ser influenciada pela idade do povoamento, pelo material genético e manejo silvicultural adotado. Apesar da relação C/S do presente estudo ter sido menor do que os relatados na literatura, tais valores ainda são considerados elevados e a decomposição desse material pode resultar na imobilização temporária do enxofre (ROCHA, 2014).

A população microbiana, ao decompor compostos orgânicos com baixa relação C/S disponibiliza o SO_4^{-2} por mineralização para a solução do solo. Entretanto, em materiais orgânicos com elevada relação C/S, os decompositores necessitam de uma quantidade maior de S para incorporar em sua biomassa. Dessa forma, o S inorgânico do solo é imobilizado, tornando-se temporariamente indisponível às plantas (STEWART; PORTER; VIETS

JUNIOR, 1966; BLUM et al., 2013), semelhantemente ao que ocorre com o nitrogênio. Em solos mal drenados, com baixa difusão de oxigênio, as formas reduzidas de S são as que predominam, tais como dióxido de S (SO_2), sulfito (SO_3^{-2}), tiossulfato ($S_2O_3^{-2}$), S elementar (S_0) e sulfeto (S^2) (BISSANI; TEDESCO, 1988).

- **Índices de qualidade de decomposição da serapilheira**

Os valores do quociente holocelulose / lignocelulose (QCL) e do índice ligno-celulósico (ILC) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos analisados. O maior valor de QCL foi observado no tratamento SPACF enquanto que a área de referência registrou o menor. Em relação ao ILC, a área de referência obteve o maior valor e o tratamento CReCF apresentou o menor (Tabela 10). Em estudo sobre decomposição realizado em plantio misto de eucalipto e acácia, Bachega (2012) observou que durante todo o período de avaliação o quociente holocelulose / lignocelulose (QCL) foi maior em folhas de eucalipto e o índice ligno- celulósico (ILC) maior nas folhas de acácia.

Esses índices apresentam ligação entre dois componentes importantes no controle da decomposição: celulose e lignina. A celulose pode ser usada como fonte de C para os microrganismos, suavizando a limitação de C durante a decomposição (WAKSMAN; STARKEY, 1924), e a lignina é normalmente um composto que impede a degradação do material vegetal, por ser resistente à decomposição (BERG; McCLAUGHERTY, 2003). Entretanto, quando combinados, esses compostos se relacionam, pois, a celulose atua como um iniciador da degradação da lignina. Talbot e Treseder (2012) observaram que, apesar de a celulose não controlar efetivamente a perda de massa do material vegetal, ela proporcionou a degradação da lignina nas folhas em que havia maior concentração de celulose.

A quantidade de nutrientes que chega ao piso florestal, presente na serapilheira, depende de dois grandes fatores: o primeiro refere-se à produção de folhas, a qual é influenciada por vários fatores, e o segundo são os teores dos nutrientes presentes nas folhas, também sujeitos a muitas influências (CARPANEZZI, 1997). As folhas da serapilheira são responsáveis pelo retorno da maior quantidade de nutrientes ao solo. Essa contribuição deve-se muito mais às quantidades de folhas depositadas do que aos teores dos elementos (CALDEIRA et al., 2007). O fluxo de N, P, K, Ca e Mg, oriundo da deposição de serapilheira em um plantio de *Eucalyptus grandis*, foi substancialmente maior nos folhedos do que em relação aos galhos, cascas e sistemas reprodutivos (CUNHA; GAMA-RODRIGUES; COSTA, 2005).

A decomposição dos resíduos florestais é um processo extremamente complexo, que envolve o ambiente físico-químico, a qualidade do substrato e a comunidade de organismos decompositores. A ciclagem dos nutrientes no manejo do eucalipto tem grande potencial de retorno de nutrientes ao solo, pois as folhas apresentam as maiores concentrações de N, P e K entre os resíduos de uma colheita florestal (HERNÁNDEZ et al., 2009). Em povoamento de *Eucalyptus grandis*, no Norte Fluminense, durante o período de um ano de decomposição, Costa, Gama-Rodrigues e Cunha (2005) encontraram 30% de perda de massa do folhedo. Segundo os autores, a maior perda de massa foliar esteve relacionada ao período de maior disponibilidade hídrica, bem como à liberação de celulose (40-51%), de polifenóis (54-70%) e, em pequena quantidade, de lignina (3-14%). Vieira et al. (2014) avaliando um plantio híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* constataram que a decomposição da serapilheira foliar foi de 73,6%, remanescendo 26,4% da massa inicial durante o período de três anos.

Tabela 10 - Índices de qualidade da serapilheira em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP), no ano de 2016

Tratamentos	Lig / N	Lig+Cel / N	QCL	ILC
AR	45,0 ± 2,46 C	75,1 ± 3,97 A	0,44 ± 0,01 B	0,60 ± 0,01 A
SPACF	28,4 ± 0,64 A	56,3 ± 1,83 C	0,59 ± 0,01 A	0,51 ± 0,01 B
CReCF	28,9 ± 0,65 A	58,5 ± 2,15 BC	0,58 ± 0,01 A	0,50 ± 0,01 B
SReCF	32,3 ± 1,26 B	63,8 ± 2,59 B	0,58 ± 0,01 A	0,51 ± 0,01 B

Médias (n=15± erro padrão) seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD (α = 0,05).C: carbono; N: nitrogênio; Lig: lignina; Cel: celulose; QCL: quociente holocelulose/lignocelulose; ILC: índice ligno-celulósico; AR: área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

4.2 Solo

4.2.1 Teor de carbono, nitrogênio e enxofre no solo

Ao analisar os teores de carbono no solo (Tabela 11), nos diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais, observou-se que na camada 0-10 cm o maior valor foi detectado no tratamento SPACF (19,2 g kg^{-1}) e o menor foi observado no tratamento A.R (15,6 g kg^{-1}). Porém, não houve diferença estatística entre os tratamentos, para todas as camadas avaliadas.

O teor de nitrogênio foi semelhante nas camadas superficiais de todos os tratamentos (Tabela 12). Porém, a partir de 20 cm de profundidade, observou-se maiores teores de N na

área de referência, sendo que as camadas 20-30 e 40-60 cm diferiram dos demais tratamentos. Nas camadas 30-40 e 60-100 cm, os tratamentos com manutenção de resíduos apresentaram valores semelhantes aos da vegetação nativa quando comparado ao tratamento com remoção de resíduo, revelando a contribuição positiva do correto manejo de resíduo florestal para a ciclagem de nitrogênio no sistema de produção silvicultural.

Observou-se que as camadas com as maiores concentrações de N na AR estão correlacionadas aos mais elevados teores de C nesta área, indicando maior incorporação de matéria orgânica ao solo. Sabe-se que mais de 90% do N do solo está no compartimento orgânico (CANTARELLA; ANDRADE; MATOS JUNIOR, 2008; WHIETHÖLTER, 2000), por isso infere-se que a maior concentração de N na área de vegetação nativa pode estar relacionada à presença de diferentes estratos florestais, fator que contribui para formação de um sistema radicular diverso, aumentando a incorporação de MOS em diferentes níveis de profundidade, quando comparado a plantios homogêneos de eucalipto. Ressalta-se, ainda, a existência de algumas espécies fixadoras de nitrogênio atmosférico na referida área, fator que também pode estar contribuindo para a maior incorporação de N no solo.

Ao analisar plantios de eucalipto em área de cerrado no Vale do Jequitinhonha, observou-se que, nas camadas 0-10 e 10-20 cm, os teores de carbono e nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica foram maiores no plantio de eucalipto com dois ciclos em comparação ao plantio com um único ciclo (Pulrolnik, 2007). Este incremento de carbono no solo, ao longo dos ciclos de cultivo, pode estar relacionado ao aporte de matéria orgânica advinda da serapilheira acumulada e pelo desenvolvimento do sistema radicular. Conforme observado por Wagner e Wolf (1998), os tecidos das raízes apresentam decomposição relativamente rápida, aumentando o teor de carbono do solo. O mesmo foi constatado por Witschoreck, Schumacher e Caldeira (2003), que ao avaliar a biomassa e o comprimento de raízes finas em plantio de *Eucalyptus urophylla* observaram que a concentração de raízes finas, associadas às condições físicas do perfil do solo, estão relacionadas a teores mais altos de MOS e de nutrientes. A manutenção de serapilheira na superfície do solo é capaz de aumentar a disponibilidade de nutrientes para as plantas, quando comparado com os sistemas onde os resíduos vegetais são removidos da superfície do solo (BELLOTE; DEDECEK; SILVA, 2008; PAVINATO; ROSOLEM, 2008; LEITE et al., 2011).

Tabela 11 – Teor médio de C (g kg^{-1}) em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF	CReCF	SReCF
		(g kg^{-1})		
0-10	15,65 ± 1,10 A	19,19 ± 1,02 A	17,31 ± 2,44 A	16,51 ± 2,80 A
10-20	9,42 ± 1,21 A	7,94 ± 0,26 A	8,43 ± 0,52 A	8,25 ± 0,55 A
20-30	7,67 ± 0,67 A	6,57 ± 0,44 A	7,01 ± 0,30 A	6,13 ± 0,46 A
30-40	6,61 ± 0,65 A	5,97 ± 0,39 A	6,96 ± 0,42 A	5,29 ± 0,40 A
40-60	5,71 ± 0,37 A	4,82 ± 0,12 A	5,24 ± 0,27 A	4,67 ± 0,13 A
60-100	4,60 ± 0,42 A	4,94 ± 0,14 A	4,91 ± 0,05 A	4,28 ± 0,23 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Tabela 12 – Teor médio de N (g kg^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF	CReCF	SReCF
		(g kg^{-1})		
0-10	0,79 ± 0,05 A	0,88 ± 0,04 A	0,80 ± 0,11 A	0,75 ± 0,09 A
10-20	0,54 ± 0,06 A	0,40 ± 0,00 A	0,44 ± 0,02 A	0,43 ± 0,03 A
20-30	0,47 ± 0,03 A	0,34 ± 0,01 B	0,38 ± 0,01 B	0,34 ± 0,02 B
30-40	0,41 ± 0,03 A	0,31 ± 0,01 BC	0,36 ± 0,01 AB	0,29 ± 0,02 C
40-60	0,34 ± 0,02 A	0,25 ± 0,00 B	0,27 ± 0,01 B	0,25 ± 0,00 B
60-100	0,29 ± 0,02 A	0,26 ± 0,01 AB	0,26 ± 0,01 AB	0,23 ± 0,01 B

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). A.R: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

O teor médio de enxofre não apresentou diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das camadas do solo (Tabela 13). Porém, de maneira geral a área de vegetação nativa apresentou a maior concentração de S no perfil avaliado, da mesma forma como ocorreu com os teores de C e N, pois ambos estão relacionados à maior incorporação de matéria orgânica no solo, seja pela deposição de serapilheira na superfície (Tabela 7) como também pela contribuição do sistema radicular. Segundo Rocha et al. (2015), a MOS é uma das principais fontes de S no solo, sendo que 90% deste elemento está presente na forma orgânica. Por este motivo, é de fundamental importância incentivar o correto manejo dos resíduos florestais, a fim de beneficiar a ciclagem desse nutriente em ambientes florestais, sobretudo em solos com alto grau de intemperismo.

Solos muito intemperizados são geralmente utilizados para a implantação de povoamentos florestais e, em sua maioria, são constituídos por Latossolos, Argissolos e Neossolos Quartzarênicos (GONÇALVES et al., 2013). Ao avaliar esses tipos de solo Kliemann (1987) e Lilienfein et al. (2000) encontraram teores totais de S variando de 0,08 a 0,32 g kg^{-1}, nos primeiros 20 cm do solo. Tais valores corroboram com os teores de S encontrados no presente estudo.

Tabela 13 – Teor médio de S (g kg^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	**AR**	**SPACF**	**CReCF**	**SReCF**
		(g kg^{-1})		
0-10	0,12 ± 0,01 A	0,11 ± 0,02 A	0,11 ± 0,03 A	0,11 ± 0,02 A
10-20	0,10 ± 0,02 A	0,08 ± 0,03 A	0,08 ± 0,02 A	0,05 ± 0,003 A
20-30	0,10 ± 0,02 A	0,11 ± 0,01 A	0,07 ± 0,02 A	0,06 ± 0,01 A
30-40	0,11 ± 0,05 A	0,12 ± 0,03 A	0,05 ± 0,01 A	0,06 ± 0,02 A
40-60	0,06 ± 0,03 A	0,10 ± 0,03 A	0,03 ± 0,01 A	0,06 ± 0,03 A
60-100	0,13 ± 0,04 A	0,10 ± 0,02 A	0,06 ± 0,02 A	0,07 ± 0,03 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

4.2.2 Relação C/N e C/S do solo

A relação C/N do solo, na camada 0-10 cm, foi maior no tratamento SReCF (21,92) e menor na área de referência (19,73), sendo que s tratamentos com manejo de resíduos foram semelhantes entre si diferindo apenas da área de referência. Entre as profundidades de

10 a 40 cm todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes entre si. Porém, nas camadas mais profundas, (40-60 e 60-100 cm), a relação C/N da área de referência diferiu significativamente dos demais tratamentos, (Tabela 14). De acordo com Oades et al. (1987), valores de relação C/N próximos de 20 são indicativos de matéria orgânica composta por produtos vegetais nos primeiros estágios de decomposição, enquanto, relações C/N mais estreitas indicam matéria orgânica mais processada e mais estáveis (BUYANOVSKY; ASLAM; WAGNER, 1994).

Ao avaliar a relação C/N do solo em plantio de eucalipto no estado de São Paulo, Pulito (2009) obteve valores variando entre 12 e 24, com média de 19. Esses valores corroboram com as médias registradas na presente pesquisa, sendo um indicativo de que o N orgânico está na fase de bioestabilização, ou seja, nem imobilizado e nem mobilizado (KIEHL, 1979). Assim, nos estádios iniciais de desenvolvimento do plantio o solo não é capaz de oferecer a quantidade de N demandada pelas arvores. Posteriormente, a mineralização de N do solo é capaz de suprir as necessidades das plantas. Valores elevados de relação C/N também foram observados por Maquere et al. (2008), Montero (2008) e Lima et al. (2006). Tais autores observaram que os teores de C total eram maiores em plantios de eucalipto. Ou seja, em povoamentos de eucalipto a qualidade da matéria orgânica acumulada no solo é mais recalcitrante, diminuindo a velocidade do processo de liberação de nitrogênio, pois a mineralização do N orgânico do solo está diretamente relacionada ao caráter lábil ou recalcitrante das frações da MO e com a atividade dos grupos microbianos que as utilizam (CAMARGO et al., 1997).

No que diz respeito à relação C/S do solo, na camada 0-10 cm, o maior valor foi registrado no tratamento SPACF (195,28), enquanto que o menor valor foi observado no tratamento CReCF (103,99), porém não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 15). De maneira geral, os valores da relação C/S, em todos os tratamentos, estavam abaixo de 200, característica de uma matéria orgânica de boa qualidade onde a mineralização tende a ser maior que a imobilização, propiciando aumento na disponibilidade de S às culturas (STEVENSON, 1986; ROCHA et al., 2015). Valores intermediários, entre 200 e 400, não costumam alterar a disponibilidade de nutrientes e aqueles superiores a 400, há predomínio da imobilização dos nutrientes e consequentemente redução de sua disponibilidade (STEVENSON, 1986).

Tabela 14 - Relação C/N do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF	CReCF	SReCF
		C/N		
0-10	19,73 ± 0,69 B	21,86 ± 0,19 A	21,60 ± 0,15 A	21,92 ± 0,89 A
10-20	17,34 ± 0,62 A	19,90 ± 0,75 A	19,21 ± 0,28 A	19,09 ± 0,08 A
20-30	16,45 ± 0,60 A	19,26 ± 0.86 A	18,64 ± 0,28 A	18,16 ± 0,52 A
30-40	16,25 ± 0,64 A	19,12 ± 0,71 A	19,06 ± 0,58 A	18,29 ± 0,32 A
40-60	16,69 ± 0,07 B	19,32 ± 0,43 A	19,28 ± 0,44 A	18,69 ± 0,51 A
60-100	15,63 ± 0,39 B	19,04 ± 0,11 A	19,21 ± 0,48 A	18,81 ± 0,52 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Tabela 15 – Relação C/S do solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF	CReCF	SReCF
		C/S		
0-10	131,86 ± 12,76 A	195,28 ± 31,62 A	103,99 ± 14,16 A	154,09 ± 30,12 A
10-20	106,03 ± 25,42 A	125,53 ± 33,08 A	118,6 ± 35,25 A	167,11 ± 21,73 A
20-30	82,67 ± 17,63 A	62,77 ± 5,69 A	130,6 ± 36,04 A	110,47 ± 27,41 A
30-40	84,11 ± 34,41 A	55,95 ± 12,39 A	158,6 ± 26,94 A	117,87 ± 46,27 A
40-60	72,51 ± 15,21 A	58,06 ± 15,23 A	133,73 ± 8,28 A	57,84 ± 14,18 A
60-100	46,38 ± 19,84 A	54,66 ± 9,76 A	112,91 ± 47,58 A	88,07 ± 34,27 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

4.2.3 Densidade do solo

A densidade do solo não diferiu entre os tratamentos analisados (Tabela 16). Na camada superficial, a área de referência apresentou o menor valor de densidade do solo (1,03 g cm $^{-3}$). Já entre os tratamentos com manejo de resíduos florestais, o SPACF apresentou menor densidade do solo (1,14 g cm $^{-3}$), seguido do CReCF (1,25 g cm $^{-3}$) e por último o SReCF (1,33 g cm^{-3}).

Tabela 16 – Densidade média do solo (g cm^{-3}) em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF	CReCF	SReCF
		(g cm^{-3})		
0-10	1,02 ± 0,09 A	1,14 ± 0,07 A	1,25 ± 0,09 A	1,33 ± 0,04 A
10-20	1,45 ± 0,01 A	1,43 ± 0,06 A	1,41 ± 0,07 A	1,45 ± 0,07 A
20-30	1,43 ± 0,02 A	1,43 ± 0,06 A	1,48 ± 0,06 A	1,45 ± 0,04 A
30-40	1,47 ± 0,02 A	1,47 ± 0,03 A	1,48 ± 0,05 A	1,47 ± 0,04 A
40-60	1,43 ± 0,05 A	1,44 ± 0,06 A	1,48 ± 0,03 A	1,50 ± 0,01 A
60-100	1,47 ± 0,02 A	1,47 ± 0,02 A	1,46 ± 0,02 A	1,43 ± 0,03 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

A avaliação da variável densidade do solo mostrou também a influência positiva da manutenção dos resíduos pós-colheita na área de cultivo para a melhoria das qualidades edáficas, uma vez que o maior valor foi identificado na SReCF, área de menor estoque de serapilheira (Tabela 7) e menores teores de C e N. A densidade do solo é um indicador muito importante para avaliar a viabilidade da produção e a sustentabilidade do sistema produtivo, uma vez que irá interferir no infiltração de água de água no solo, na redistribuição da solução nutritiva do solo, no desenvolvimento do sistema radicular, e consequentemente, no desenvolvimento do dossel. Os valores de densidade do solo encontrados nos tratamentos de plantios de eucalipto foram menores que 1,75 g cm^{-3}, estimado como nível crítico em solos arenosos a textura média (SOUZA et al., 2005).

De maneira geral, os menores valores de densidade do solo foram identificados na camada superficial, tal fato está relacionado maior acúmulo de matéria orgânica e maior ação dos microrganismos e formação de agregados no solo. Por sua vez, o aumento da densidade ao longo do perfil do solo está relacionado ao sobrepeso das camadas superiores (REICHARDT; TIMM, 2004).

Em avaliações de plantios de eucalipto na Amazônia, realizadas por Lopes et al. (2015), foram encontrados valores menores, variando entre 0,9 e 1,0 g cm^{-3} na camada 0-10 CM, em solo de textura arenosa. Rocha et al. (2015) obtiveram valores de densidade variando entre 1,23 e 1,38 g cm^{-3}, na camada 0-10 cm, e 1,42 a 1,52 g cm^{-3}, na camada 30-40 cm. Resultados similares foram observados por Coutinho et al. (2010) em plantio de eucalipto, com valores de densidade do solo variando de 1,36 g cm^{-3}, na camada superficial, a 1,42 g cm^{-3} aos 100 cm de profundidade. Solos de textura arenosa apresentam densidade naturalmente superior em comparação aos de textura argilosa (RESENDE et al., 2012).

4.2.4 Estoque de carbono, nitrogênio e enxofre no solo

O maior estoque de carbono, na camada 0-10 cm, foi observado no tratamento onde manteve-se apenas a serapilheira sobre o solo (SPACF = 21,9 Mg ha^{-1}) o menor valor foi observado na área de referência (AR = 16,06 Mg ha^{-1}), porém não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 17). Mudanças significativas nos estoques de carbono do solo geralmente são detectadas em torno de 30 a 40 anos após o plantio (LI; NIU; LUO, 2012), contudo em pesquisa realizada por Mujuru et al. (2014), em plantios de *P. patula* no Zimbábue, indicaram que mudanças também podem ocorrer a curto prazo (cerca de 10 a 25 anos após o plantio). Além disso, a incorporação de carbono oriundo da biomassa aérea e das raízes ao horizonte mineral é um processo gradual (JANDL et al., 2007) necessitando de um tempo mais longo para a estabilização do carbono no solo.

Ao avaliar o estoque de nitrogênio, na camada 0-10 cm, observou-se que os tratamentos com manejo de resíduos florestais apresentaram valores semelhantes entre si (SPACF = 1,0 Mg ha^{-1}; CReCF = 1,0 Mg ha^{-1}; SReCF = 0,99 Mg ha^{-1}). Diferenças significativas foram observadas entre a área de referência e os demais tratamentos nas camadas 20-30 e 40-60 cm. Na camada 30-40 cm, o tratamento CReCF diferiu do SReCF e na 60-100 cm diferenças foram observadas entre os tratamentos SPACF e SReCF (Tabela 18).

Tabela 17 - Estoque de C (Mg ha^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF	CReCF	SReCF
		Mg ha^{-1}		
0-10	16,06 ± 1,13 A	21,91 ± 1,17 A	21,56 ± 3,04 A	21,89 ± 3,71 A
10-20	13,65 ± 1,76 A	11,33 ± 0,37 A	11,92 ± 0,74 A	11,98 ± 0,80 A
20-30	11,00 ± 0,95 A	9,4 ± 0,63 A	10,36 ± 0,44 A	8,87 ± 0,66 A
30-40	9,74 ± 0,95 A	8,79 ± 0,58 A	10,29 ± 0,62 A	7,75 ± 0,59 A
40-60	16,36 ± 1,05 A	13,87 ± 0,34 A	15,54 ± 0,79 A	14,01 ± 0,40 A
60-100	27,05 ± 2,46 A	29,02 ± 0,82 A	28,73 ± 0,28 A	24,52 ± 1,26 A
0-40	50,40 ± 1,90 A	51,40 ± 2,80 A	54,10 ± 4,50 A	50,50 ± 4,60 A
0-100	93,90 ± 2,60 A	93,80 ± 2,60 A	96,90 ± 5,10 A	87,80 ± 8,10 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Tabela 18 - Estoque de N (Mg ha^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	**AR**	**SPACF**	**CReCF**	**SReCF**
		Mg ha^{-1}		
0-10	0,81 ± 0,05 A	1,00 ± 0,05 A	1,00 ± 0,14 A	0,99 ± 0,12 A
10-20	0,78 ± 0,08 A	0,57 ± 0,00 A	0,62 ± 0,03 A	0,63 ± 0,04 A
20-30	0,67 ± 0,04 A	0,49 ± 0,01 B	0,56 ± 0,02 B	0,49 ± 0,02 B
30-40	0,60 ± 0,04 A	0,46 ± 0,02 BC	0,54 ± 0,02 AB	0,42 ± 0,03 C
40-60	0,98 ± 0,06 A	0,72 ± 0,00 B	0,81 ± 0,03 B	0,75 ± 0,01 B
60-100	1,72 ± 0,11 A	1,50 ± 0,05 AB	1,42 ± 0,04 BC	1,24 ± 0,03 C
0-40	2,90 ± 0,06 A	2,50 ± 0,14 A	2,70 ± 0,16 A	2,50 ± 0,21 A
0-100	5,60 ± 0,08 A	4,70 ± 0,17 A	4,90 ± 0,17 A	4,50 ± 0,38 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

De maneira geral, os resultados dos estoques de carbono e nitrogênio do solo indicam que os maiores valores foram observados nas camadas superficiais (0-40 cm). A redução nos estoques em profundidade é decorrente do menor aporte de material orgânico em sub superfície (GAZOLLA et al., 2015). De acordo com Binkley et al. (2004), ganhos de carbono no solo, derivados do eucalipto, concentram-se na camada de 0-30 cm. No presente estudo, cerca de 55% do carbono e 54% do nitrogênio encontravam-se na profundidade de 0-40 cm. Resultados similares foram observados por Coutinho et al. (2010) onde 60% do carbono encontrava-se nessa mesma faixa de profundidade e por Vicente, Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2016), que registram cerca 41% do carbono do solo (0-30 cm).

Melhores estimativas sobre as mudanças temporais nos estoques de carbono do solo também podem ser obtidas usando os estoques de S no solo (BAILEY; DENG; SMITH, 2001). Os fluxos de S podem ser quantificados de forma mais confiável do que os de N, e uma vez que mais de 95% do S presente no solo ocorre em formas orgânicas (NGUYEN; GOH, 1994), sendo que as mudanças nas estimativas de entrada e saída de S deve corresponder bastante às mudanças nos estoques de carbono do solo. Bailey, Deng e Smith, (2001) utilizando dados de 144 solos de pastagens, obtiveram uma correlação altamente significativa entre os estoques de C e S do solo.

A produção primária das plantas e a atividade microbiana do solo são os dois principais processos biológicos que governam as entradas e saídas de matéria orgânica do solo (SOM) (MONTAGNINI; NAIR, 2004). O estoque de C e N no solo resulta, principalmente, da taxa de decomposição dos resíduos da colheita florestal que permanecem sobre a superfície do solo, da manta orgânica e das raízes finas, que, devido à maior concentração de substâncias recalcitrantes, dão origem a formas mais estáveis de C no solo (SILVA et al., 2004; SCHUMACHER; WITSCHORECK, 2004). Em um plantio de eucalipto, a manutenção e acúmulo dos resíduos da colheita possibilitou o incremento de 30 e 2,5 t ha^{-1} de C e N, respectivamente, em comparação ao solo de eucalipto sem a deposição dos resíduos da colheita. Além do mais, frações da MOS mais estáveis (humificadas) também foram beneficiadas, com incrementos de 2 t ha^{-1} de N nas substâncias húmicas e 7 t ha^{-1} de C na fração ácidos húmicos na camada de 0-100 cm (PEGORARO et al., 2011).

Diferenças significativas no estoque de C do solo (0–60 cm) foram observadas por Zinn, Resck e Silva (2002), em plantações de *Eucalyptus grandis* na região de Cerrado do Estado de Minas Gerais, em consequência da textura e da classe de solo. Em áreas de Latossolos, com 36 % de argila, o estoque de C foi 44 % maior que nas áreas de Cambissolos, com 17 % de argila. Resultados semelhantes foram encontrados por Gatto et al. (2010),

avaliando os estoques de carbono em diferentes classes de solos observaram que o maior estoque foi registrado em Latossolo Vermelho. Segundo os autores, os maiores teores de carbono nessas classes de solos podem estar relacionados com suas características, pois são geralmente solos profundos e bem drenados, praticamente sem impedimento ao crescimento radicular do eucalipto, influenciando positivamente a distribuição e manutenção do C orgânico no solo. Na região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais, a substituição de pastagens degradadas por plantios comerciais de longo prazo de eucalipto (três décadas) resultou em incremento de 10 e de 15 Mg ha^{-1} de C, à profundidade de 0–20 cm, em um Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho, respectivamente (LIMA et al., 2008).

Plantios florestais vêm sendo considerado como uma importante ferramenta na recuperação dos estoques de carbono do solo devido à alta incorporação de biomassa acima do solo, pela entrada de formas mais recalcitrantes de carbono e pela presença de um sistema radicular mais profundo. A produção de raízes das árvores responde por cerca de 33% da produção primária líquida anual e se distribui mais profundamente do que as raízes de gramíneas (LAL, 2005; DON et al., 2010; PÉREZ-CRUZADO et al., 2012). Além disso, os estoques de carbono associados à serapilheira, a matéria orgânica e a biomassa de raízes, aumentam com a idade das plantações florestais (WAUTERS et al., 2008).

Ao avaliar o estoque de carbono na camada 0-40 cm (Tabela 17), nota-se que o maior valor foi observado no tratamento CReCF (54,1 Mg ha^{-1}) e o menor valor foi registrado na área de referência (50,4 Mg ha^{-1}), porém, não houve diferenças significativas entre todos os tratamentos. A maior parte da atividade biológica está concentrada na camada 0-30 cm do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Porém é importante ressaltar que o solo deve ser avaliado em maior profundidade, pois este é um dos principais sumidouros de carbono existentes no ecossistema terrestre (LAL, 2008). Ao avaliar as mudanças no estoque de C em plantações de *Eucalyptus globulus* com 14 anos de idade, foi verificado aumento no C estocado no solo nas áreas que receberam fertilização e irrigação, especialmente na camada de 0–20 cm de profundidade (MADEIRA et al., 2002).

Ao analisar o estoque de carbono na camada 0-100 cm (Tabela 17), observou-se que o tratamento no qual todos os resíduos florestais haviam sido mantidos sobre o solo registrou o maior estoque (CReCF = 96,9 Mg ha^{-1}) enquanto que a remoção dos resíduos impactou de forma negativa sobre os estoques de C do solo. O tratamento SReCF apresentou uma redução de 9,4%, ou seja, cerca de 9,1 Mg de C a menos que o CReCF. A área de referência registrou estoque superior aos tratamentos SPACF e SReCF e inferior ao CReCF.

Ao avaliar os estoques de carbono do solo em plantios de eucalipto em Minas Gerais (MG), foi observado que, na camada 0-100 cm, o estoque de C de um Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) foi de 95,1 Mg ha^{-1} em Rio Doce e 180,9 Mg ha^{-1}em Sabinópolis (GATTO et al., 2010). Apesar de se tratar de uma mesma classe de solo é comum verificar diferenças nos estoques de carbono, em virtude da granulometria e do manejo do solo. É importante salientar que o presente estudo está sendo conduzido em um LVA com baixo teor de argila, o que interfere nos estoques de carbono no solo, tendo em vista que solos como o de Sabinópolis, por apresentarem alto teor de argila, oferecem proteção ao carbono na forma de complexos organominerais, contribuindo para o elevado estoque de carbono em solos argilosos.

Em meta-análise sobre o impacto de reflorestamentos realizada por Li et al. (2012), observou-se que os estoques de C no solo aumentaram após o plantio de espécies de *Eucalyptus*. O aumento nos estoques de C, no plantio de eucalipto, ocorreu tanto no horizonte orgânico quanto no mineral. Além disso, tais autores identificaram que as mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio do solo estão positivamente correlacionadas e possuem um padrão temporal semelhante, mas as alterações no nitrogênio do solo são detectadas em estádios de idade superiores às mudanças no carbono do solo. Geralmente, as alterações nos estoques de carbono são detectadas entre 30 e 40 anos após o plantio, enquanto que as alterações nos estoques de nitrogênio podem ser percebidas cerca de 50 anos após a plantio.

O estoque de nitrogênio, na camada 0-40 cm (Tabela 18), foi maior na área de referência (2,9 Mg ha^{-1}), seguido do tratamento CReCF (2,7 Mg ha^{-1}). Os tratamentos SPACF e SReCF registraram cerca de 2,5 Mg ha^{-1} cada um. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos, nas camadas 0-40 e 0-100 cm. Corroborando com a observação geral de que é necessário um tempo maior (~ 50 anos) para detectar aumentos no nitrogênio do solo, após o plantio (LI et al., 2012). Ao avaliar a substituição da vegetação do Cerrado pelo cultivo de eucalipto, Purolnilk (2007) observou uma diminuição do estoque de N em 15 % na camada de 0-10 cm, 10 % na camada de 10-20 cm e 3 % na camada de 0-100 cm.

A maior produção de serapilheira pode resultar no aumento nos estoques de nitrogênio na manta orgânica assim como nos horizontes com altas taxas de ciclagem de raízes finas (GUEDES; OLSSON; KARLTUNC, 2016). No presente estudo, excluindo a área de referência, o tratamento SPACF apresentou maior estoque de serapilheira (Tabela 7) e consequentemente maior estoque de nitrogênio (Tabela 18). Além disso, sistemas radiculares profundos são capazes de acessar fontes de N nas camadas mais profundas do solo, resultando no transporte nitrogênio, beneficiando a produção de biomassa e acúmulo de serapilheira.

Laclau et al. (2013) demonstraram que jovens plantações de *E. grandis* apresentaram profundidades de enraizamento de até 10 m em solo arenoso.

O estoque de nitrogênio, na camada 0-100 cm (Tabela 18), foi maior na área de referência (5,6 Mg ha^{1}) e entre os tratamentos com manejo de resíduos florestais o maior estoque de N foi observado no CReCF (4,9 Mg ha^{-1}) e o menor no SReCF (4,5 Mg ha^{-1}). Ao avaliar o estoque de N nas frações das substâncias húmicas em um argissolo sob plantio de *E. urograndis* e em rotação com *Acacia mangium*, Pegoraro et al. (2014) observaram que a rotação de acácia após o cultivo do eucalipto incrementou os estoques de N, na camada de 0-100 cm, em comparação ao solo de eucalipto em curta e longa rotação. Ainda de acordo com os autores, o estoque de N total do solo foi cerca de 8 Mg ha^{-1} e 7 Mg ha^{-1} no plantio de eucalipto em longa e curta rotação, respectivamente.

O estoque de enxofre foi semelhante entre todas as camadas dos tratamentos estudados (Tabela 19). Ao analisar os estoques de S, na camada 0-40 cm, observou-se que o maior valor foi registrado na área de referência (0,58 Mg ha^{-1}), seguido do tratamento onde apenas a serapilheira foi mantida sobre o solo (SPACF = 0,55 Mg ha^{-1}). O tratamento com remoção total dos resíduos apresentou o menor estoque de S (SReCF = 0,4 Mg ha^{-1}). Na camada 0-100 cm, assim como na camada 0-40 cm, a área de referência apresentou maior estoque de S (A.R = 1,5 Mg ha^{-1}) e o tratamento onde manteve-se todos os resíduos sobre o solo registrou o menor (CReCF = 0,83 Mg ha^{-1}). Não foram observadas diferenças significativas, entre os tratamentos avaliados (Tabela 19). Ao avaliar o saldo de entrada e saída de S, entre 1940 e 1990, Bailey, Deng e Smith (2001) observaram que o solo se comportava primeiramente como um sumidouro e posteriormente como uma fonte de S, e que as perdas liquidas foram provocadas pela degradação ou pela decomposição da matéria orgânica do solo no horizonte A.

O enxofre caracteriza-se por ser um elemento essencial para o metabolismo da planta, sendo constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina a partir da qual a proteína vegetal é sintetizada. As plantas absorvem enxofre principalmente na forma de sulfato (KERTESZ; MIRLEAU, 2004) pelas raízes, sendo transportado para as folhas, onde ocorrem várias etapas de redução enzimática para a produção de cisteína. Blum et al. (2013) observaram que o fornecimento de enxofre para a síntese microbiana influenciou a decomposição do carbono, como foi relatado por Saggar et al. (1981).

Tabela 19 – Estoque de S (Mg ha^{-1}) no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	A.R	SPACF	CReCF	SReCF
		Mg ha^{-1}		
0-10	0,12 ± 0,01 A	0,12 ± 0,03 A	0,14 ± 0,04 A	0,15 ± 0,02 A
10-20	0,14 ± 0,03 A	0,11 ± 0,04 A	0,11 ± 0,02 A	0,07 ± 0,004 A
20-30	0,14 ± 0,02 A	0,15 ± 0,01 A	0,10 ± 0,03 A	0,09 ± 0,02 A
30-40	0,17 ± 0,07 A	0,18 ± 0,04 A	0,07 ± 0,01 A	0,09 ± 0,03 A
40-60	0,18 ± 0,08 A	0,29 ± 0,10 A	0,08 ± 0,04 A	0,19 ± 0,09 A
60-100	0,76 ± 0,21 A	0,56 ± 0,11 A	0,33 ± 0,11 A	0,37 ± 0,14 A
0-40	0,58 ± 0,07 A	0,56 ± 0,02 A	0,42 ± 0,04 A	0,39 ± 0,11 A
0-100	1,51 ± 0,27 A	1,41 ± 0,13 A	0,83 ± 0,13 A	0,96 ± 0,26 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($\alpha = 0,05$). A.R: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

5 CONCLUSÕES

A hipótese I, “a manutenção dos resíduos florestais na área, após a colheita, aumenta os estoques de carbono, nitrogênio e enxofre no solo”, não foi corroborada. Não houve diferenças entre os tratamentos com manejo de resíduos em doze anos de avaliação, contudo há uma tendência de aumento nos estoques de carbono à medida que os resíduos florestais são mantidos sobre o solo. O tratamento CReCF promoveu aumento de 9% e 8% nos estoques de C e N no solo em relação ao SReCF.

A hipótese II, “A manutenção dos resíduos florestais tende a aumentar o acúmulo de serapilheira sobre o solo”, foi corroborada. O estoque de serapilheira foi significativamente superior nos tratamentos onde os resíduos foram mantidos em relação aquele com remoção. A maior quantidade de resíduos no piso florestal propicia maior oferta de N, a partir da decomposição desse material. O estoque de nitrogênio na serapilheira reduziu significativamente com a remoção dos resíduos, enquanto que o de carbono foi maior na A.R e de enxofre no tratamento SReCF.

A hipótese III, “A manutenção dos resíduos florestais ocasiona impactos positivos sobre a qualidade da serapilheira, diminuindo as relações C/N, Lig./N e Lig.+Cel./N”, foi corroborada. As relações C/N, Lig./N e Lig.+Cel./N foram menores nos tratamentos CReCF e SPACF, em relação ao tratamento SReCF. A redução nos valores dessas relações é indicativo de um material vegetal de boa qualidade e possivelmente de menor resistência a decomposição. Os índices QCL e ILC não apresentaram diferenças entre os tratamentos com manejo de resíduos, porém são bons indicadores da qualidade do material vegetal.

Com base no exposto, recomenda-se que em áreas de implantações florestais os resíduos da colheita sejam mantidos sobre o solo a fim de garantir a sustentabilidade da produção florestal e a redução das exportações de nutrientes com a colheita. É importante destacar, ainda, que quando a manutenção de todos os resíduos não for possível, é recomendado que ao menos a serapilheira seja mantida sobre o solo por ser uma importante fonte de nutrientes.

REFERÊNCIAS

ADAMS, M. A.; ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests South-Easthern Australia. I. Nutrient cycling and nitrogen turnover. **Plant and Soil**, The Hague, v. 92, p. 319-339, 1986.

AITA, C. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: Efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: FRIES, M. R.; DALMOLIN, R. S. D. (Coord.). **Atualização em recomendação de adubação e calagem com ênfase ao plantio direto**. Santa Maria: UFSM, 1997. p. 76-111.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio, e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S.; VITTI, G. C. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira.** Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 1-42.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, A. S. F.; LEITE, L. F. C.; NUNES, L. A. P. L.; CARNEIRO, R. F. V. **Matéria orgânica e organismos do solo**. Teresina: EDUFPI, 2008. 220 p.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; MARTINS, S. C.; GROPPO, J. D.; SALGADO, P. R.; EVANGELISTA, B.; VASCONCELLOS, E.; SANO, E. E.; PAVÃO, E.; LUNA, R.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A. Changes in soil carbon stocks in Brazil due to land use: paired site comparisons and a regional pasture soil survey. **Biogeosciences**, Hoboken, v. 10, p. 6141–6160, 2013.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, p. 711-728, 2013.

ALVAREZ V., V. H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C. H.; PEREIRA, N. F. Enxofre. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 595-644.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. **Guia Técnico Referência**: anuário do setor madeireiro: 2014. Curitiba: Jota, 2014. 90 p.

BACHEGA, L. R. **Efeito das espécies na decomposição da serapilheira e na transferência de N entre folhas em plantios mistos de** *Eucalyptus grandis* **e** *Acacia mangium*. 2012. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

BAILEY, J. S.; DENG, Y.; SMITH, R. V. Changes in soil organic carbon storage under grassland as evidenced by changes in sulphur input - output budgets. **Chemosphere**, Oxford, v. 42, p. 141-151, 2001.

BARANTAL, S.; ROY, J.; FROMIN, N.; SCHIMANN, H.; HÄTTENSCHWILER. S. Long-term presence of tree species but not chemical diversity affect litter mixture effects on decomposition in a neotropical rainforest. **Oecologia**, Berlin, v. 167, n. 1, p. 241-251, 2011.

BARBOSA, V.; BARRETO-GARCIA, P.; GAMA-RODRIGUES, E.; DE PAULA, A. Biomassa, carbono e nitrogênio na serapilheira acumulada de florestas plantadas e nativa. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 24, e20150243, 2017.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de B.; FONSECA, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 611-619, 2008.

BARRIE, A.; PROSSER, S. Automated analysis of light-element stable isotopes by isotope ratio mass spectrometer. In: BOUTTON, T. W.; YAMASAKI, S. **Mass spectrometry of soils**. New York: Marcel Dekker, 1996. p. 1-46.

BARROS, N. F.; COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 487-592.

BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, Amsterdam, v. 89, n. 3/4, p. 273-286, 1999.

BAYER, C.; MIELNICZUK. J.; MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO2. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 599-607, 2000.

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

BERG, B.; McCLAUGHERTY, C. **Plant litter**: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Berlin: Springer Verlag, 2003. 286 p.

BERG, B.; EKBOHM, G.; McCLAUGHERTY, C. Lignin and holocellulose relations during long term decomposition of some forest litters: Long- term decomposition in a Scots-pine forest. IV. **Canadian Journal of Botany,** Ottawa, v. 62, n. 12, p. 2540-2550, 1984.

BERNOUX, M.; ARROUAYS, D.; CERRI, C. C.; BOURENNANE, H. Modeling vertical distribution carbon in Oxisols of the Western Brazilian Amazon (Rondônia). **Soil Science**, New Brunswick, v. 163, p. 941-951, 1998.

BERNOUX, M. B.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, p. 888–896, 2002.

BINKLEY, D.; KAYE, J.; BARRY, M.; RYAN, M. G. First-rotation changes in soil carbon and nitrogen in a Eucalyptus plantation in Hawaii. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 68, n. 5, p. 1713-1719, 2004.

BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. O enxofre no solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., 1988, Londrina. **Anais...** Londrina: EMBRAPA/IAPAR/SBCS, 1988. p. 11-29.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA, 1986. p. 363-375.

BLUM, S. C.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; CAIRES, E. F.; ALLEONI, L. R. F. Sulfur forms in organic substrates affecting S mineralization in soil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 200–201, p. 156-164, 2013.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica do carbono e nitrogênio em um argissolo do Rio Grande do Sul usando modelo Century. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 1635-1646, 2009.

BOUTTON, T. W. Stable carbon isotope ratios of natural materials. II. Atmospheric, terrestrial, marine and freshwater environments. In: COLEMAN, D. C.; FRY, B. (Ed.). **Carbon isotope techniques**. New York: Academic Press, 1991. p. 173-185.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura.** Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/download.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2017.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; GARLIPP, R. C. D. Avaliação técnico-econômica da produção de celulose de madeira não-descascada de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis*. **O Papel**, São Paulo, v. 11, p. 154-232, 1978.

BUCHMANN, N.; KAPLAN, J. O. Carbon isotope discrimination of terrestrial ecosystems - how well do observed and modeled result match? In: SCHULZE, E. D.; HEIMANN, M.; HARRISON, S.; HOLLAND, E.; LLOYD, J.; PRENTICE, I. C.; SCHIMEL, D. (Ed.). **Global biogeochemical cycles in the climate system.** San Diego: Academic Press, 2001. p. 253-266.

BUSTAMANTE, M. M. C.; MARTINELLI, L. A.; SILVA, D. A.; CAMARGO, P. B.; KLINK, C. A. DOMINGUES, T. F.; SANTOS, R. V. 15N natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian savannas (Cerrado). **Ecological Applications**, Tempe, AZ, v. 14, p. 200-213, 2004.

BUTENSCHOEN, O.; KRASHEVSKA, V.; MARAUN, M.; MARIAN, F.; SANDMANN, D.; SCHEU, S. Litter mixture effects on decomposition in tropical montane rainforest vary strongly with time and turn negative at later stages of decay. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 77, p. 121-128, 2014.

BUYANOVSKY, G. A.; ASLAM, M.; WAGNER, G. H. Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, n. 4, p. 1167–1173, 1994.

CALDEIRA, M. V. W.; MARQUES, R.; SOARES, R. V.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes – floresta ombrófila mista Montana – Paraná. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 101-116, 2007.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAADT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma Floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008. doi: 10.5433/1679- 0359.2008v29n1p53.

CAMARGO, F. A. O.; GIANELLO, C.; VIDOR, C. Potencial de mineralização do nitrogênio em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p. 575-579, 1997.

CANTARELLA, H.; ANDRADE, C. A.; MATTOS JUNIOR, D. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio para as plantas. In: SANTOS, G. A. de; SILVA, L. S.; CANTANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo:** ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 581-585.

CARPANEZZI, A. A. **Banco de sementes e deposição de folhedo e seus nutrientes em povoamentos de bracatinga** (*Mimosa scabrella* **Bentham) na região metropolitana de Curitiba-PR**. 1997. 177 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista "'Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 1997.

CARVALHO, A. M.; SOUZA, L. L. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; ALVES, P. C. A. C.; VIVALDI, L. J. Cover plants with potential use for crop-livestock integrated systems in the Cerrado Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 200-1205, 2011.

CARVALHO, A. M.; COELHO, M. C.; DANTAS, R. A.; FONSECA, O. P.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FIGUEIREDO, C. C. Chemical composition of cover plants and its effect on maize yield in no-tillage systems in the Brazilian savanna. **Crop and Pasture Science**, Collingwood, v. 63, p. 1075-1081-1081, 2012.

CARVALHO, D. C. DE; PEREIRA, M. G.; TOLEDO, L. O.; SIMON, C. A.; RODRIGUES, J. DA S.; FERNANDES, J. C. F.; SILVA NETO, E. C. Ciclagem de nutrientes de um plantio de eucalipto em regeneração de espécies nativas no sub-bosque. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 17-27, 2017.

COLE, D. W.; RAPP, M. Elemental cycling in forested ecosystems. In: REICHLE, D. E. (Ed.). **Dynamic properties of forest ecosystems.** Cambridge: Cambridge University, 1980. p. 341–409.

CORBEELS, M.; McMURTRIE, R. E.; PEPPER, D. A.; MENDHAM, D. S.; GROVE, T. S.; O'CONNELL, A. M. Long-term changes in productivity of eucalypt plantations under diferent harvest residue and nitrogen management practices: A modelling analysis. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 217, p. 1-18, 2005.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 197-226.

CORTEZ, J.; DEMARD, J. M.; BOTTNER, P.; JACTEUR MONROZIER, L. Decomposition of Mediterranean leaf litter: a microcosm experiment investigating relationships between decomposition rates and litter quality. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 28, n. 4-5, p. 443-452, 1996.

COSTA, C. C. A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D.; SILVA, P. C. M. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de Caatinga na Flona de Açu-RN. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 259-265, 2010.

COSTA, G. S.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CUNHA, G. M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no Norte Fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 563–570, 2005.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A.; JANTALIA, C. P.; Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N_2O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, n. 2, p. 195-203, 2010.

CULLINGS, K. W.; NEW, M. H.; MAKHIJA, S.; PARKER, V. T. Effects of litter addition on ectomycorrhizal associates of a lodgepole pine (*Pinus contorta*) stand in Yellowstone National Park. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, DC, v. 69, n. 7, p. 3772-3776, 2003.

CUNHA, G. M.; GAMA-RODRIGUES, A. C. da; COSTA, G. S. Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* w. Hill ex maiden no norte fluminense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 353-363, 2005.

DAWSON, T. E.; MAMBELLI, S.; PLAMBOECK, A. H.; TEMPLER, P. H.; TU, K. P. Stable isotopes in plant ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 33, p. 507-559, 2002.

DE KONING, G.; VELDKAMP, E.; LÓPEZ-ULLOA, M. Quantification of carbon sequestration in soils following pasture to forest conversion in northwestern Ecuador. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington, DC, v. 17, p. 1098-1109, 2003.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 1-67.

DICK, G.; SCHUMACHER, M. V.; MOMOLLI, D. R.; SANTOS, J. C. dos; LUDVICHAK, A. A.; GUIMARÃES, C. C.; SOUZA, H. P. de. Quantificação da biomassa e nutrientes em um povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden estabelecido no Bioma Pampa. **Ecologia e Nutrição Florestal,** Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-09, 2016.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 17, p. 1658-1670, 2010.

Du TOIT, B.; DOVEY, S. B. Effect of site management on leaf area, early biomass development, and stand growth efficiency of a *Eucalyptus grandis* plantation in South Africa. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 35, p. 891–900, 2005.

Du TOIT, B.; DOVEY, S.B.; SMITH, C.W. Effects of slash and site management treatments on soil properties, nutrition and growth of a *Eucalyptus grandis* Plantation in South Africa. In: NAMBIAR, E. K. S. **Site management and productivity in tropical plantation forests**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008. p. 63-78.

DUTTA, R. K.; AGRAWAL, M. Litterfall, litter decomposition and nutrient release in five exotic plant species planted on coal mine spoils. **Pedobiologia**, Jena, v. 45, p. 298-312, 2001.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 75, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

FAHEY, T.; YAVITT, J.; SHERMAN, R.; GROFMAN, P.; FISK, M.; MAERZ, J. Transport of carbon and nitrogen between litter and soil organic matter in a northern hardwood forest. **Ecosystems**, Heidelberg, v. 14, n. 2, p. 326-340, 2011.

FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico total e frações da matéria orgânica do solo em diferentes distâncias do tronco de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 265–277, 2008.

FARQUHAR, G. D.; BALL, M. C.; VON CAEMMERER, S.; ROKSANDIC, Z. Effect of salinity and humidity on delta 13C values of halophytes-evidence for diffusional isotope fractionation determined by the ratios of intercellular/ atmospheric CO2 under different environmental conditions. **Oecologia**, Berlin, v. 52, n. 1, p. 121-137, 1982.

FAO. **Global Forest Resources Assessment**. Rome, 2005.

FAO. **Global Forest Resources Assessment**. Rome, 2010.

FEYERA, S.; BECK, E.; LÜTTGE, U. Exotic trees as nurse-trees for the regeneration of natural tropical forests. **Trees**, Berlin, v. 16, p. 245-249, 2002.

FRESCHET, G. T.; AERTS, R.; CORNELISSEN, J. H. C. A plant economics spectrum of litter decomposability. **Functional Ecology**, Oxford, v. 26, p. 56-65, 2012.

GALLARDO, A.; MERINO, J. Leaf decomposition in two Mediterranean ecosystems of Southeast Spain: influence substrate quality. **Ecology**, Brooklyn, v. 74, p. 721-727, 1993.

GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, p. 193-207, 2002.

GARAY, I.; ANDRADE, F. N.; KINDEL, A. Evolução da serapilheira e da fertilidade do solo em região de Mata Atlântica de tabuleiros: de plantios a mata nativa. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA: ambiente e sociedade, 5., 2001. Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia, 2001. p. 242.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. da; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. de A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1069-1079, 2010.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015.

GONÇALVES, J. L. M. Principais solos usados para plantações florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações de florestas**. Piracicaba: IPEF, 2002. p. 1-45.

GONÇALVES, J. L. M.; BARROS, N. F.; NAMBIAR, E. K. S.; NOVAIS, R. F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E. K. S.; BROWN, A. G. **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra: ACIAR, 1997. p. 379-418.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. 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: IPEF, 2000. p. 1-58.

GONÇALVES, J. L. D.; ALVARES, C. A.; HIGA, A. R.; SILVA, L. D.; ALFENAS, A. C.; STAHL, J.; FERRAZ, S. F. D.; LIMA, W. D. P.; BRANCALION, P. H. S.; HUBNER, A.; BOUILLET, J. P. D.; LACLAU, J. P.; NOUVELLON, Y.; EPRON, D. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 301, p. 6-27, 2013.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de ^{13}C e ^{15}N em uma cronossequência de agricultura sob plantio direto no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 1135-1142, 2014. doi: 10.1590/S0100-06832014000400009.

GUEDES, B. S.; OLSSON, B. A.; KARLTUNC, E. Effects of 34-year-old *Pinus taeda* and *Eucalyptus grandis* plantations on soil carbon and nutrient status in former miombo forest soils. **Global Ecology and Conservation**, Amsterdam, v. 8, p. 190–202, 2016.

GUO, L. B.; SIMS, R. E. H. Litter production and nutrient return in New Zealand eucalypt short-rotation forests: implications for land management. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 73, p. 93-100, 1999.

HANDLEY, L. L.; RAVEN, J. A. The uses of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 15, n. 9, p. 965-985, 1992.

HARDWICK, K.; HEALEY, J.; ELLIOTT, S.; GARWOOD, N.; ANUSARNSUNTHORN, V. Understanding and assisting natural regeneration processes in degraded seasonal evergreen forests in northern Thailand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 99, p. 203–214, 1997.

HARWOOD, C. Introductions: doing it right. In: WALKER, J. (Ed.). **Developing a Eucalypt resource**. Learning from Australia and elsewhere. Christchurch, NZ: Wood Technology Research Centre, University of Canterbury, 2011. p. 43–54.

HÄTTENSCHWILER, S.; JORGENSENT, H. B. Carbon quality rather than stoichiometry controls litter decomposition in a tropical rain forest. **Journal of Ecology**, Oxford v. 98, n. 4, p. 754-763, 2010.

HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers:** An introduction to nutrient management. 7. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2005. 528 p.

HEAL, O. W.; ANDERSON J. M.; SWIFT, M. J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: CADISH, G.; GILLER, K. E. (Ed.). **Driven by nature:** plant litter quality and decomposition. Wallingford: CAB International, 1997. p. 3-30.

HEPP, L. U.; DELANORA, R.; TREVISAN A. Compostos secundários durante a decomposição foliar de espécies arbóreas em um riacho do sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica,** Belo Horizonte, v. 23, n. 2, p. 407-413, 2009.

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

HOGBERG, P. ^{15}N natural abundance in soil-plant system. Transley review Nº 95. **New Phytologist**, London, v. 137, n. 2, p. 179-203, 1997.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBA. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2014.** Brasília, DF, 2015. 80 p. (Relatório IBA).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBA. **Indicadores de desempenho do setor nacional de árvores plantadas referentes ao ano de 2015.** Brasília, DF, 2016. 100 p. (Relatório IBA).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/tabelas. Acessado em: 12 maio 2017.

JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D. W.; MINKKINEN, K.; BYRNE, K. A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? **Geoderma**, Amsterdam, v. 137, p. 253–268, 2007.

JOHN, M. G. S.; ORWIN, K. H.; DICKIE, I. A. No ‘home’ versus ‘away’ effects of decomposition found in a grassland-forest reciprocal litter transplant study. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 43, n. 7, p. 1482-1489, 2011.

JONES, H. E.; MADEIRA, M.; HERRAEZ, L.; DIGHTON, J.; FABIÂO, A.; GONZÁLEZRIO, F.; MARCOS, M. F.; GOMEZ, C.; TOMÉ, M.; FEITH, H.; MAGALHÂES, M. C.; HOWSON, G. The effect of organic-matter management on the productivity of *Eucalyptus globulus* stands in Spain and Portugal: tree growth and harvest residue decomposition in relation to site and treatment. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 122, p. 73-86, 1999.

JUDD, T. S.; BENNETT, L. T.; WESTON, C. J.; ATTIWILL, P. M.; WHITEMAN, P. H. The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland, southeastern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 82, p. 87-101, 1996.

KEENAN, R.; LAMB, D.; WOLDRING, O.; IRVINE, T.; JENSEN, R. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in Northern Australia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 99, p. 117–131, 1997.

KERTESZ, M. A.; MIRLEAU, P. The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 1939-1945, 2004.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHEKI, A.; MAHALLATI, M. N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 133, p. 25-31, 2013.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KIMMINS, J. P. Identifying key processes affecting long-term site productivity. In: DYCK, W. J.; COLE, D. W.; COMERFORD, N. B. **Impacts of forest harvesting on long-term site productivity**. Heidelberg: Springer Science, 1994. p. 119-150.

KLIEMANN, J. K. C. **Contribuição ao estudo da disponibilidade de enxofre em solos brasileiros**. 1987. 85 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1987.

KOLM, L.; POGGIANI, F. Ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* submetidos à prática de desbastes progressivos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 63, p. 79-93, 2003.

KUMAR, K.; GOH, K. M. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. **Advances in Agronomy**, New York, v. 68, p. 197-319, 2000.

LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; DELEPORTE, P.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; MARLET, S.; BOUILLET, J. P. Nutrient cycling in a clonal stand of Eucalyptus and an adjacent savanna ecosystem in Congo 3. Input–output budgets and consequences for the sustainability of the plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 210, p. 375–391, 2005.

LACLAU, J.-P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J. L. M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A. V.; M'BOU, A. T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J. P.; PICCOLO, M. C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical Eucalyptus plantations. Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, p. 1771–1785, 2010a.

LACLAU, J.-P.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; NZILA, J. D.; BOUILLET, J. P.; SAINTANDRÉ, L.; VERSINI, A.; MARESCHAL, L.; NOUVELLON, Y.; THONGO, M'BOU A.; RANGER, J. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in Eucalyptus plantations established on a sand tropical soil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 260, p. 2148-2159, 2010b.

LACLAU, J.-P.; SILVA, E. A.; RODRIGUES LAMBAIS, G.; BERNOUX, M.; LE MAIRE, G.; STAPE, J. L.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J. L. M.; JOURDAN, C.; NOUVELLON, Y. Dynamics of soil exploration by fine roots down to a depth of 10 m throughout the entire rotation in *Eucalyptus grandis* plantations. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 4, art. 243, 2013. doi: 10.3389/fpls.2013.00243.

LAGANIÉRE, J.; ANGERS, D. A.; PARÉ, D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. **Global Change Biology**, Oxford, v. 16, p. 439-453, 2010.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 220, p. 242–258, 2005.

LAL, R. Carbon sequestration. **Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences**, London, v. 363, n. 2, p. 815-830, 2008.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B. B. N.; VIEIRA, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, London, v. 4, p. 27-35, 2014.

LEHMANN, J.; GÜNTHER, D.; MOTA, S. da M.; ALMEIDA, M. P. de; ZECH, W.; KAISER, K. Inorganic and organic soil phosphorus and sulfur pools in an Amazonian multistrata agroforestry system. **Agroforestry Systems**, Heidelberg, v. 53, p. 113-124, 2001.

LEITE, F. P.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; VILLANI, E. M. A. Nutrient relations during an eucalyptus cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 949-959, 2011.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.

LI, D., NIU, S., LUO, Y. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis. **New Phytologist**, London, v. 195, p. 172–181, 2012.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W.; AYARZA, M. A.; VILELA, L.; LIMA, S. C.; ZECH, W. Chemical fractionation of phosphorus, sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisols under diferente land use. **Geoderma**, Amsterdam, v. 96, p. 31-46, 2000.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; MENDONÇA, E. D.; SMYTH, T. J.; MOREIRA, M. S.; LEITE, F. P. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 235, p. 219-231, 2006.

LIMA, A. M. N.; SILVA, I. R. da; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F.; SÁ MENDONÇA, E.; DEMOLINARI, M. S. M.; LEITE, F. P. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1053-1063, 2008.

LIU, N.; GALLINO, R.; BISTERZO, S.; DAVIS, A. M.; SAVINA, M. R.; PELLIN, M. J. The ^{13}C-pocket structure in AGB models: Constraints from zirconium isotope abundances in single mainstream sic grains. **Astrophysical Journal**, Chicago, v. 788, p. 163, 2013.

LIU, X. B.; HAN, X. Z.; HERBERT, S. J.; XING, B. Dynamics of soil organic carbon under different agricultural management system in the black soil of China. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 34, p. 973-984, 2003.

LOPES, R da S.; RODRIGUES, S. J. S de C.; ALBUQUERQUE, M. P. F. de; VASCONCELOS, S. S. Estoque de carbono e densidade do solo em plantio de *Eucalyptus grandis* na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35., 2015, Natal, RN. **O solo e suas múltiplas funções**. Natal, RN: SBCS, 2015.

LOSS, A., PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J.; PICCOLO, M. de C. Soil fertility, humic fractions and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in soil under different land use in Paraná State, Southern Brazil. **IDESIA**, Arica, Chile, v. 34, n. 1, p. 27-38, 2016.

LOUZADA, J. N. C.; SCHOEREDER, J. H.; DE MARCO, P. J. Litter decomposition in semidecidous forest and *Eucalyptus spp*. crop in Brazil: a comparison. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 94, p. 31-36, 1997.

LOVATO, T. **Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado**. 2001. 133 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MADEIRA, M. V.; FABIÃO, A.; PEREIRA, J. S.; ARAÚJO, M. C.; RIBEIRO, C. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill, plantations induced by different water and nutrient availability. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 171, p. 75-85, 2002.

MAQUERE, V.; LACLAU, J. P.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRE, L.; GONÇALVES, J. L. M.; CERRI, C. C.; PICCOLO, M. C.; RANGER, J. Influence of land use (savanna, pasture, Eucalyptus plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 59, p. 863-877, 2008.

MARTINELLI L.A.; PESSENDA, L. C. R.; ESPINOZA, E.; CAMARGO, P. B.; TELLES, E. C.; CERRI, C. C.; VICTORIA, R. L.; AVARENA, R.; RICHEY, J.; TRUMBORE, S. Carbon-13 variation with depht in soils of Brazil and climate change during quaternary. **Oecologia**, Berlin, v. 106, p. 376-381, 1996.

MARTINELLI L. A.; PICCOLO, M. C.; TOWNSEND, A. R.; VITOUSEK, P. M.; CUEVAS, E.; MCDOWELL, W.; ROBERTSON, G.P.; SANTOS, O. C.; TRESEDER, K. Nitrogen stable isotopic composition of leaves and soil: Tropical versus temperate forests. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 46, p. 45–65, 1999.

MARTINS, S. C. **Caracterização dos solos e serapilheira ao longo do gradiente altitudinal da Mata Atlântica, estado de São Paulo**. 2010. 155 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MATHERS, N. J.; MENDHAM, D. S.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; XU, Z.; SAFFIGNA, P. G. How does residue management impact soil organic matter composition and quality under *Eucalyptus globulus* plantations in southwestern Australia? **Forest Ecology and Management,** Amsterdam, v. 179, p 253-267, 2003.

MELILLO, J. M.; ABER, J. D.; LINKENS, A. E.; RICCA, A.; FRY, B.; NADELHOFFER, K. Carbon and nitrogen dynamics along the decay continuum: plant litter to soil organic matter. In: CLARHOLM, M.; BERGSTRON, L. (Ed.). **Ecology of arable lands**. Dordrecht: Kluwer Academic Press, 1989. p. 53-62.

MENDHAM, D. S.; SANKARAN, K. V.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S. *Eucalyptus globulus* harvest residue management effects on soil carbon and microbial biomass at 1 and 5 years after plantation establishment. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 12, p. 1903-1912, 2002.

MENDHAM, D. S.; O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; RANCE, S. J. Residue management effects on soil carbon and nutrient contents and growth of second rotation eucalypts. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 181, p. 357–372, 2003.

MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; SANTIAGO, M. M. F.; CAMARGO, P. B.; LIMA, J. O. G.; MENDES FILHO, J. Identificação de mudanças florestais por 13C e 15N dos solos da Chapada do Araripe/Ceará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** Campina Grande, v. 14, p. 314-319, 2010.

MENEGALE, M. L. C.; ROCHA, J. H. T.; HARRISON, R.; GONCALVES, J. L. de M.; ALMEIDA, R. F.; PICCOLO, M. de C.; HUBNER, A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; FERRAZ, A. de V.; JAMES, J. N.; MICHELSEN-CORREA, S. Effect of timber harvest intensities and fertilizer application on stocks of soil C, N, P, and S. **Forests**, Basel, v. 7, p. 319, 2016. doi:10.3390/f7120319.

MENEZES, A. A. **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo**. 2005. 98 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

MIRANDA, G. A.; BARROS, N. F.; LEITE, H. G.; COUTO, L.; NASCIMENTO, M. Produtividade de povoamentos de eucalipto em regime de talhadia, em função da adubação parcelada, no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 51-59, 1998.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Heidelberg, v. 61, p. 281–295, 2004.

MONTERO, L. L. **Carbono em solos de cerrado**: efeitos do uso florestal. 2008. 117 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MONTEIRO, M. T. **Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana**: Indicadores da qualidade do solo e da serapilheira em sítios florestais do Norte Fluminense. 2001. 75 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ, 2001.

MONTEIRO, M. T.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Carbono, nitrogênio e atividade da biomassa microbiana em diferentes estruturas de serapilheira de uma floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 5, p. 819–826, 2004.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: SBS, 2000. 112 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo.** Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

MUJURU, L.; GOTORA, T.; VELTHORST, E. J.; NYAMANGARA, J.; HOOSBEEK, M. R. Soil carbon and nitrogen sequestration over an age sequence of *Pinus patula* plantations in Zimbabwean Eastern Highlands. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 313, p. 254–265, 2014.

NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 52, p. 1633-1640, 1988.

NADELHOFFER, K. J.; FRY, B. Nitrogen isotope studies in forest ecosystems. In: LATHJA, K.; MICHENER, R. H. (Ed.). **Stable isotopes in ecology and environmental science**. Oxford: Blackwell Scientific, 1994. p. 22-44.

NAMBIAR, E.; HARWOOD, C. Productivity of acacia and eucalypt plantations in Southeast Asia. 1. Bio-physical determinants of production: opportunities and challenges. **International Forestry Review**, Shropshire, UK, v. 16, p. 225–248, 2014.

NAMBIAR, E. K. S.; KALLIO, M. H. Increasing and sustaining productivity in subtropical and tropical plantation forests: Making a difference through research partnership. In: NAMBIAR, E. K. S. **Site management and productivity in tropical plantation forests**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008. p. 205-228.

NGUYEN, M. L.; GOH, K. M. Sulphur cycling and its implications on sulphur fertiliser requirements of grazed grassland ecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 49, p. 173-206, 1994.

NZIGUHEBA, G.; SMOLDERS, E.; MERCKX, R. Sulphur immobilization and availability in soils assessed using isotope dilution. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 37, p. 635–644, 2005.

NZILA, J. D.; BOILLET, J. P.; LACLAU, J. C.; RANGER, J. The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in Eucalyptus plantations in the Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 171, p. 209-221, 2002.

OADES, J. M.; VASSALLO, A. M.; WATERS, A. G.; WILSON, M. A. Characterization of organic matter in particle size and density fractions from Red-Brown Earth by solid-state 13C NMR. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 25, n. 1, p. 71–82, 1987.

O'CONNELL, A. M. Nutrient dynamics in decomposing litter in karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forests of South Western Australia. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 76, p. 1186-1203, 1988.

O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S. Eucalypt plantations in southwestern Australia. In: NAMBIAR, E. K. S.; COSSALTER, C.; TIARKS, A. (Ed.). **Site management and productivity in tropical plantation forests**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 1999. p. 53–59.

O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; MENDHAM, D. S.; RANCE, S. J. Changes in soil N status and N supply rates in agricultural land afforested with eucalypts in south-western Australia. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 35, p. 1527–1536, 2003.

O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; MENDHAM, D. S.; CORBEELS, M.; MCMURTRIE, R. E.; SHAMMAS, K.; RANCE, S. J. Impacts of inter-rotation site management on nutrient stores and fluxes and growth of Eucalypt plantations in Southwestern Australia. In: NAMBIAR, E. K. S.; RANGER, J.; TIARKS, A.; TOMA, T. (Ed.). **Site management and productivity in tropical plantation forests**: Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2004b. p. 77–91.

O'CONNELL, A. M.; GROVE, T. S.; MENDHAM, D. S.; RANCE, S. J. Impact of harvest residue management on soil nitrogen dynamics in Eucalyptus globules plantations in would Western Australia. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 36, p. 39-48, 2004a.

OSÓRIO FILHO, B. D.; RHEINHEIMER, D. S.; SILVA, L. S.; KAMINSKI, J.; DIAS, G. F. Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 3, p. 712-719, 2007.

PARRON, L. M.; BUSTAMANTE, M. M. da C.; CAMARGO, P. B. de. **Composição isotópica de carbono e nitrogênio em solos e plantas de uma mata de galeria**: efeito do gradiente topográfico. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 24 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento).

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1996. 340 p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 911-920, 2008.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R. DA; NOVAIS, R. F. DE; BARROS, N. F. DE; FONSECA, S.; DAMBROZ, C. S. Estoques de carbono e nitrogênio nas frações da matéria orgânica em Argissolo sob eucalipto e pastagem. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 261-273, 2011.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R. da; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; FONSECA, S. Estoques de carbono e nitrogênio em argissolo submetido ao monocultivo de *Eucalyptus urograndis* e em rotação com *Acacia mangium*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 935-946, 2014.

PÉREZ-CRUZADO, C.; MANSILLA-SALINERO, P.; RODRÍGUEZ-SOALLEIRO, R.; MERINO, A. Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region. **Plant and Soil**, The Hague, v. 353, p. 333–353, 2012.

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; CERRI, C. C. Natural abundance of 15N in soils along forest-to-pasture chronosequences in the western Brasilian Amazon. **Oecologia**, Berlin, v. 99, n. 1/2, p. 112-117, 1994.

PICCOLO, M. C.; NEILL, C.; MELILLO, J. M.; CERRI, C. C.; STEUDLER, P. A. 15N Natural abundance in forest and pasture soils of the Brazilian Amazon Basin. **Plant and Soil**, The Hague, v. 182, p. 249-258, 1996.

PINTO, S. I. C.; MARTINS, S. V.; BARROS, N. F.; DIAS, H. C. T. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de Floresta Estacional Semidecidual na Reserva Mata do Paraíso em Viçosa, MG. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 32, n. 3, p. 545-556, 2008.

PRAGANA, R. B.; NOBREGA, R. S. A.; RIBEIRO, M. R.; LUSTOSA FILHO, J. F. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos Amarelos na região do cerrado piauiense sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 851-858, 2012.

PRESCOTT, C. E. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 101, n. 1-3, p. 133-149, 2010.

PROCTOR, J. Tropical rain forests. **Progress in Physical Geography**, London, v. 13, n. 3, p. 409-430, 1989.

PULITO, A. P. **Resposta à fertilização nitrogenada e estoque de nitrogênio biodisponível em solos usados para plantações de** *Eucalyptus*. 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PULROLNIK, K. **Estoque e qualidade de matéria orgânica do solo de plantações de eucalipto em área de Cerrado**. 2007. 97 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

QUINTANA, L. G. **Composição química e decomposição de resíduos vegetais da** *Acrocomia aculeata* **sob condições de lençol freático**. 2013. 224 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

RACHID, C. T. C. C. **Comunidade bacteriana, atributos do solo e fluxo de gases em solo sob Cerrado e cana-de-açúcar.** 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Reflexo do cultivo mínimo no ambiente e na fisiologia da árvore. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1., 1995, Curitiba. **Anais...** Curitiba: CNP Floresta, 1995. p. 148-162.

REIS, M. G. F.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p. 265-301.

RESENDE, T. M.; MORAES, R. M.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; SANTOS D. S.; Borges, E. N.; Ribeiro, B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma Cerrado. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, p. 179-184, 2012. Supplement 1.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de. **Cerrado**: ambiente e flora. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1998. p. 89-166.

ROCHA, J. H. T. **Reflexos do manejo de resíduos florestais na produtividade, nutrição e fertilidade do solo em plantações de** *Eucalyptus grandis*. 2014. 121 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. de M.; GODINHO, T. de O.; SOUZA FILHO, L. F. da S. Nutrição e fertilização com enxofre e uso de gesso em plantações de eucalipto. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 208, p. 1-14, 2015.

ROCHA, J. H. T.; GONÇALVES, J. L. de M.; GAVA, J. L.; GODINHO, T. de O.; MELO, E. A. S. C.; BAZANI, J. H.; HUBNER, A.; ARTHUR JUNIOR, J. C.; WICHERT, M. P. Forest residue maintenance increased the wood productivity of a Eucalyptus plantation over two short rotations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 379, p. 1–10, 2016.

SAINT-ANDRÉ, L.; LACLAU, J. P.; DELEPORTE, P.; GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; MENDHAM, D.; NZILA, J. D.; SMITH, C.; Du TOIT, B.; XU, D. P.; SANKARAN, K. V.; MARIEN, J. N.; NOUVELLON, Y.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Slash and litter management effects on Eucalyptus productivity: a synthesis using a growth and yield modelling approach. In: NAMBIAR, E. K. S. **Site management and productivity in tropical plantation forests**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008. p. 173-190.

SANKARAN, K. V.; MENDHAM, D. S.; CHACKO, K. C.; PANDALAI, R. C.; PILLAI, P. K. C.; GROVE, T. S.; O'CONNELL, A. M. Impact of site management practices on growth of Eucalypt plantations in the Monsoonal Tropics in Kerala, India. In: NAMBIAR, E. K. S. **Site management and productivity in tropical plantation forests**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008. p. 23-38.

SCHEER, M.B. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em um trecho de floresta ombrófila densa aluvial em regeneração, Guaraqueçaba (PR). **Floresta**, Curitiba, v. 38, p. 253-266, 2008. http://dx.doi.org/10.5380/ rf.v38i2.11620.

SCHUMACHER, M. V.; WITSCHORECK, R. Inventário de carbono em povoamentos de *Eucalyptus* spp. Nas propriedades fumageiras do sul do Brasil: "Um estudo de caso". In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILIOTTO, M. A. B. (Ed.). **Fixação de carbono**: Atualidades, projetos e pesquisas. Curitiba: AM Impressos, 2004. p. 111-124.

SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F.; SIMÕES, J. W. Transferência de nutrientes das copas para o solo através da deposição de folhedo em povoamentos de Eucalyptus camaldulensis, Eucalyptus grandis, Eucalyptus torelliana plantados em Anhembi-SP. **Revista IPEF**, Piracicaba, v. 47, p. 56-61, 1994.

SCHUMACHER, M. V.; CORRÊA, R. S.; VIERA, M.; ARAÚJO, E. F. Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* maidenii. **Cerne,** Lavras, v. 19, n. 3, p. 501-508, 2013.

SELLER, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 29-39, 2007.

SILVA, P. H. M. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantações de *Eucalyptus grandis*, após aplicação de lodo de esgoto.** 2006. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, I. R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; SILVA, E.F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: Uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 10-20, 2004.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo.** Porto Alegre: Gênesis, 2000. 174 p.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo**: fundamentos e perspectivas. Brasília, DF: MEC: ABEAS; Lavras: ESAL: FAEPE, 1988. 236 p.

SMETHURST, P. J.; NAMBIAR, E. K. S. Effects of slash and litter management on fluxes of nitrogen and tree growth in a young *Pinus radiata* plantation. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 20, p. 1498–1507, 1990.

SMITH, B. N.; EPSTEIN S. Two categories of 13C/12C ratios for higer plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 47 p. 380-384, 1971.

SMITH, C. T.; LOWE, A. T.; SKINNER, M. F.; BEETS, P. N.; SCHOENHOLTZ, S. H.; SHENGZUO, F. Response of *Radiata pine* forests to residue management and fertilisation across a fertility gradient in New Zealand. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 138, p. 203-223, 2000.

SOUZA, E. D.; Carneiro, M. A. C.; Paulino, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Carbon gain and allocation a *Eucalyptus* plantation: Irrigation and fertilization effects. Conference posters. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EUCALYPT PRODUCTIVITY, 2002, Horbart, Tasmania, Australia. **Proceedings…** Scottsville, South Africa: Institute for Commercial Forestry Research, p.84.

STARKEY, R. L. Relations of microorganisms to transformations of sulfur in soils. **Soil Science**, New Brunswick, v. 70, p. 55-65, 1950.

STEVENSON, F. J. (Ed.). **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. 940 p.

STEVENSON, F. J.; COLE, M. A. **Cycles of soil**: Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. 2. ed. New York: John Wiley e Sons, 1999. 448 p.

STEWART, B. A.; PORTER, L. K.; VIETS JUNIOR, F. G. Effect of sulfur content of status on rates of decomposition and plant growth. **Soi1 Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 30, n. 3, p. 355 358, 1966.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, J. M. The decomposer organisms. In: _____. **Decomposition in terrestrial ecosystems**. Berkeley: University of California Press, 1979. p. 66-117.

SYERS, J. K.; CRASWELL, E. T. Role of soil organic matter in sustainable agricultural systems. In: LEFROY, R. D. B.; BLAIR, G. J.; CRASWELL, E. T. (Ed.). **Soil organic matter management for sustainable agriculture**. Canberra: ACIAR, 1995. p. 7-14.

SZPAK, P. Complexities of nitrogen isotope biogeochemistry in plant-soil systems: implications for the study of ancient agricultural and animal management practices. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 5, p. 1-19, 2014.

TALBOT, J. M.; TRESEDER, K. K. Interactions among lignin, cellulose, and nitrogen drive litter chemistry-decay relationship. **Ecology**, Brooklyn, v. 93, n. 2, p. 345-354, 2012.

TAYLOR, B. R.; PARKINSON, D.; PARSONS, W. F. J. Nitrogen and lignin content as predictors of litter decay rates: a microcosm test. **Ecology**, Brooklyn, v. 70, p. 97-104, 1989.

TIARKS, A.; NAMBIAR, E.; COSSALTER, C. **Site management and productivity in tropical forest plantations**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 1998. (CIFOR Occasional Paper, 16).

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. **Nature**, London, v. 371, p. 783–785, 1994.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 285 p.

VERSINI, A.; ZELLER, B.; DERRIEN, D.; MAZOUMBOU, J.-C.; MARESCHAL, L.; SAINT-ANDRÉ, L.; RANGER, J.; LACLAU, J-P. The role of harvest residues to sustain tree growth and soil nitrogen stocks in a tropical *Eucalyptus* plantation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 376, p. 245-260, 2014.

VEZZANI, F. M. **Qualidade do sistema solo na produção agrícola**. 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Soil carbon stocks of Ultisols under different land use in the Atlantic rainforest zone of Brazil. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 7, p. 330-337, 2016.

VIEIRA, S.A. Efeito das plantações florestais (Eucalyptus sp.) sobre a dinâmica de nutrientes em região de Cerrado do Estado de São Paulo. 1998. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

VIEIRA, M.; SCHUMACHER, M. V.; ARAÚJO, E. F.; CORRÊA, R. S.; CALDEIRA, M. V. W. Deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* × *E. globulus*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 327-338, 2014.

VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A.; FRANKEN, W. K.; FONSECA, R. C. B. Produção de serapilheira e ciclagem de nutrientes de uma Floresta Estacional Semidecidual em zona ripária. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 8, p. 793-800, 2004.

VITOUSEK, P. M.; SANFORD, R. L. Nutrient cycling in moist tropical forests. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 17, p. 137-167, 1986.

VIVANCO, L.; AUSTIN, A. T. Intrinsic effects of species on leaf litter and root decomposition: a comparison of temperate grasses from North and South America. **Oecologia**, Berlin, v. 150, n. 1, p. 97-107, 2006.

WAGNER, G. H.; WOLF, D. C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: SYLVIA, D. M.; FUHRMANN, J. J.; HARTEL, P. G.; ZUBERER, D. A. **Principles and applications of soil microbiology.** New Jersey: Prentice Hall, 1998. p. 218-256.

WAKSMAN, S. A.; STARKEY, R. L. Influence of organic matter upon the development of fungi, actinomycetes and bacterial in the soil. **Soil Science**, New Brunswick, v. 17, n. 3, p. 374-378, 1924.

WAUTERS, J. B.; COUDERT, S.; GRALLIEN, E.; JONARD, M.; PONETTE, Q. Carbon stock in rubber tree plantations in Western Ghana and Mato Grosso (Brazil). **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 2347–2361, 2008.

WHIETHÖLTER, S. Nitrogênio no solo sob plantio direto. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 58, p. 38-42, 2000.

WITSCHORECK, R.; SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W. Estimativa da biomassa e do comprimento de raízes finas em *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no município de Santa Maria – RS. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, p. 177-183, 2003.

WRIGHT, J. A.; DINICOLA, A.; GAITAN, A. Latin American Forest plantations – Opportunities for carbon sequestration, economic, development and financial returns. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 98, p. 20-23, 2002.

XU, D. P.; YANG, Z. J.; ZHANG, N. N. Effects of site management on tree growth, aboveground biomass production and nutrient accumulation of a second-rotation plantation of *Eucalyptus urophylla* in Guangdong Province, China. In: NAMBIAR, E. K. S. **Site management and productivity in tropical plantation forests.** Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008. p. 39-50.

ZEN, S.; YONEZAWA, J. T.; FELDEBERG, J. E. Implantação de florestas no sistema de cultivo mínimo. In: SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTAS, 1., 1991 Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1995. p. 65-72.

ZHANG, W.; WANG, S. Effects of NH4+ and NO3- on litter and soil organic carbon decomposition in a Chinese fir plantation forest in South China. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 47, n. 7, p. 116-122, 2012.

ZINN, Y. L.; RESCK, D. V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 166, p. 285-294, 2002.

APÊNDICES

Apêndice A: Tabelas de estoques de C, N e S na serapilheira e no solo

Estoque de C, N, S na serapilheira em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Tratamento	**C**	**N**	**S**
		(Mg ha^{-1})	
AR	5,87 ± 0,34 A	0,12 ± 0,009 A	0,012 ± 0,002 A
SPACF	4,54 ± 0,36 B	0,09 ± 0,007 B	0,009 ± 0,001 A
CReCF	4,35 ± 0,29 B	0,09 ± 0,008 B	0,009 ± 0,001 A
SReCF	3,46 ± 0,18 C	0,06 ± 0,004 C	0,008 ± 0,001 A

Médias (n=15± erro padrão) seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Estoque de C no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	A.R	SPACF		CReCF		SReCF	
		Com correção	Sem correção	Com correção	Sem correção	Com correção	Sem correção
				(Mg ha^{-1})			
0-10	16,06 ± 1,13 A	21,91 ± 1,17 A	21,91 ± 1,17 A	21,56 ± 3.04 A	21,56 ± 3.04 A	21,89 ± 3,71 A	21,89 ± 3,71 A
10-20	13,65 ± 1,76 A	11,33 ± 0,37 A	11,33 ± 0,37 A	11,92 ± 0,74 A	11,92 ± 0,74 A	11,98 ± 0,80 A	11,98 ± 0,80 A
20-30	11,00 ± 0,95 A	9,4 ± 0,63 A	9,4 ± 0,63 A	10,36 ± 0,44 A	10,36 ± 0,44 A	8,87 ± 0,66 A	8,87 ± 0,66 A
30-40	9,74 ± 0,95 A	8,79 ± 0,58 A	8,79 ± 0,58 A	10,29 ± 0,62 A	10,29 ± 0,62 A	7,75 ± 0,59 A	7,75 ± 0,59 A
40-60	16,36 ± 1,05 A	13,87 ± 0,34 A	13,87 ± 0,34 A	15,54 ± 0,79 A	15,54 ± 0,79 A	14,01 ± 0,40 A	14,01 ± 0,40 A
60-100	27,05 ± 2,46 A	29,02 ± 0,82 A	28,5 ± 0,84 A	28,73 ± 0,28 A	27,18 ± 0,30 A	24,52 ± 1,26 A	23,28 ± 1,33 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Estoque de N no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF		CReCF		SReCF	
		Com correção	Sem correção	Com correção	Sem correção	Com correção	Sem correção
				(Mg ha^{-1})			
0-10	0,81 ± 0,05 A	1,00 ± 0,05 A	1,00 ± 0,05 A	1,00 ± 0,14 A	1,00 ± 0,14 A	0,99 ± 0,12 A	0,99 ± 0,12 A
10-20	0,78 ± 0,08 A	0,57 ± 0,004 A	0,57 ± 0,004 A	0,62 ± 0,03 A	0,62 ± 0,03 A	0,63 ± 0,04 A	0,63 ± 0,04 A
20-30	0,67 ± 0,04 A	0,49 ± 0,01 B	0,49 ± 0,01 B	0,56 ± 0,02 B	0,56 ± 0,02 B	0,49 ± 0,02 B	0,49 ± 0,02 B
30-40	0,60 ± 0,04 A	0,46 ± 0,02 BC	0,46 ± 0,02 BC	0,54 ± 0,02 AB	0,54 ± 0,02 AB	0,42 ± 0,03 C	0,42 ± 0,03 C
40-60	0,98 ± 0,06 A	0,72 ± 0,002 B	0,72 ± 0,002 B	0,81 ± 0,03 B	0,81 ± 0,03 B	0,75 ± 0,01 B	0,75 ± 0,01 B
60-100	1,72 ± 0,11 A	1,5 ± 0,05 AB	1,52 ± 0,05 AB	1,42 ± 0,04 AB	1,5 ± 0,04 AB	1,24 ± 0,03 B	1,3 ± 0,04 B

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Estoque de S no solo em diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais na Estação Experimental de Ciências Florestais (Itatinga, SP) no ano de 2016

Camada (cm)	AR	SPACF		CReCF		SReCF	
		Com correção	Sem correção	Com correção	Sem correção	Com correção	Sem correção
				(Mg ha^{-1})			
0-10	0,12 ± 0,01 A	0,12 ± 0,03 A	0,12 ± 0,03 A	0,14 ± 0,04 A	0,14 ± 0,04 A	0,15 ± 0,02 A	0,15 ± 0,02 A
10-20	0,14 ± 0,03 A	0,11 ± 0,04 A	0,11 ± 0,04 A	0,11 ± 0,02 A	0,11 ± 0,02 A	0,07 ± 0,004 A	0,07 ± 0,004 A
20-30	0,14 ± 0,02 A	0,15 ± 0,01 A	0,15 ± 0,01 A	0,10 ± 0,03 A	0,10 ± 0,03 A	0,09 ± 0,02 A	0,09 ± 0,02 A
30-40	0,17 ± 0,07 A	0,18 ± 0,04 A	0,18 ± 0,04 A	0,07 ± 0,01 A	0,07 ± 0,01 A	0,09 ± 0,03 A	0,09 ± 0,03 A
40-60	0,18 ± 0,08 A	0,29 ± 0,10 A	0,29 ± 0,10 A	0,08 ± 0,04 A	0,08 ± 0,04 A	0,19 ± 0,09 A	0,19 ± 0,09 A
60-100	0,76 ± 0,21 A	0,56 ± 0,11 A	0,57 ± 0,11 A	0,33 ± 0,11 A	0,34 ± 0,11 A	0,37 ± 0,14 A	0,39 ± 0,15 A

Letras maiúsculas comparam médias (média ± erro padrão da média) entre os diferentes tratamentos estudados dentro de uma mesma camada de solo. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste LSD (α = 0,05). AR: Área de referência; SPACF: Remoção de toda parte aérea das árvores (manutenção apenas da serapilheira) e com fertilização NPK; CReCF: Com todos os resíduos florestais mantidos sobre o solo (colheita apenas da madeira sem casca) e com fertilização NPK; SReCF: Remoção de todos os resíduos florestais e com fertilização NPK

Apêndice B: Marcha analítica de FDN, FDA e LDA

FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO

Marcha analítica:

- Pesar ± 0,5000g de amostra seca e moída a 1mm em saquinhos previamente tarados
- Colocar os saquinhos no aparelho
- Colocar solução de FDN até cobrir os saquinhos
- Adicionar 2ml de solução de amilase
- Deixar ferver por 1 hora
- Escoar a solução
- Colocar água destilada quente no aparelho
- Deixar fervendo por 5 minutos e escoar a água
- Repetir essa operação por mais 3 vezes
- Colocar os saquinhos em bandeja com papel absorvente para retirar o excesso de líquido
- Colocar os saquinhos imersos em acetona p.a.
- Deixar por 5 minutos
- Retirar os saquinhos e colocar em estufa 105°C por uma noite
- Pesar os saquinhos

Referência:

AOAC 2011 (ID 973.18)

FIBRA EM DETERGENTE ÁCIDO

Marcha analítica:

- Colocar os saquinhos contendo o resíduo da determinação de FDN no aparelho
- Colocar solução de FDA até cobrir os saquinhos
- Deixar ferver por 1 hora
- Escoar a solução
- Colocar água destilada quente no aparelho
- Deixar fervendo por 5 minutos e escoar a água
- Repetir essa operação por mais 3 vezes
- Colocar os saquinhos em bandeja com papel absorvente para retirar o excesso de líquido
- Colocar os saquinhos imersos em acetona p.a.
- Deixar por 5 minutos
- Retirar os saquinhos e colocar em estufa 105°C por uma noite
- Pesar os saquinhos

Referência:

AOAC 2011 (ID 2002.04)

LIGNINA DETERGENTE ÁCIDO

Marcha analítica:

- Colocar os saquinhos resultantes da determinação de FDA em becker
- Adicionar solução de ácido sulfúrico 72%
- Deixar os saquinhos em contato com a solução de ácido sulfúrico por 3h
- Retirar o ácido
- Lavar os saquinhos com água destilada aquecida
- Introduzir os saquinhos no aparelho e adicionar água destilada
- Deixar fervendo por 5 minutos e escoar a água
- Repetir essa operação por mais 3 vezes
- Colocar os saquinhos em bandeja com papel absorvente para retirar o excesso de líquido
- Colocar os saquinhos imersos em acetona p.a.
- Deixar por 5 minutos
- Retirar os saquinhos e colocar em estufa 105°C por uma noite
- Pesar os saquinhos
- Colocar os saquinhos em cadinhos previamente tarados
- Colocar em mufla, a 500°C, por 4 horas
- Pesar.

Referência:

AOAC 2011 (ID 973.18)