

## RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,  
o texto completo desta tese será  
disponibilizado somente a partir de  
06/03/2020.

**MARCOS VINICIUS MANSANO SARTO**

**CONTRIBUIÇÃO DO EUCALIPTO PARA A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM  
SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

**Botucatu**

**2018**

**MARCOS VINICIUS MANSANO SARTO**

**CONTRIBUIÇÃO DO EUCALIPTO PARA A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM  
SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Agricultura).

Orientador: **Ciro Antonio Rosolem**  
Coorientador: **Wander Luis Barbosa Borges**

**Botucatu**

**2018**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S251c Sarto, Marcos Vinicius Mansano, 1988-  
Contribuição do eucalipto para a matéria orgânica do solo em sistema integrado de produção agropecuária / Marcos Vinicius Mansano Sarto. - Botucatu: [s.n.], 2018  
98 p.: grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018  
Orientador: Ciro Antonio Rosolem  
Coorientador: Wander Luis Barbosa Borges  
Inclui bibliografia

1. Eucalipto. 2. Biomassa. 3. Agropecuária. 4. Enzimas extracelulares. 5. Sequestro de carbono. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Borges, Wander Luis Barbosa. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: CONTRIBUIÇÃO DO EUCALIPTO PARA A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM SISTEMA INTEGRADO DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

**AUTOR: MARCOS VINICIUS MANSANO SARTO**

**ORIENTADOR: CIRO ANTONIO ROSOLEM**

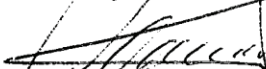
**COORIENTADOR: WANDER LUÍS BARBOSA BORGES**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:




Prof. Dr. CIRO ANTONIO ROSOLEM

Depto de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



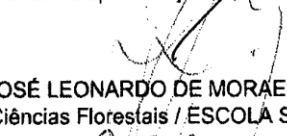
Prof. Dr. CARLOS ALEXANDRE COSTA CRUSCIOL

Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DO NASCIMENTO

Pós-doutorando - Dep Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

Deptº de Ciências Florestais / ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA



Prof. Dr. RAFAEL OTTO

Depto. Ciência do Solo / ESALQ - USP - Piracicaba/SP

Botucatu, 06 de março de 2018

*Aos meus pais, Salvador e Janice Sarto, a minha irmã Marcella, e a família Wobeto por tudo que fizeram e ainda fazem por mim.*

**OFEREÇO**

*À Minha Esposa, Jaqueline, pela compreensão, apoio e amor incondicional.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem, pela excelente orientação e confiança durante todo o doutorado, e, sobretudo, pela amizade e exemplo.

Ao pesquisador Dr. Wander Luís Barbosa Borges, pela força de vontade, auxílio nas amostragens, amizade e orientação.

Aos professores e funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal e do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Agricultura da UNESP.

À Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA), por ter cedido a área experimental, e seus funcionários para auxílio nas coletas.

Ao Prof. Dr. Charles W. Rice, pela orientação durante o estágio de pesquisa na Kansas State University-USA.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento pessoal de Nível Superior) pela bolsa concedida. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de doutorado e financiamento das pesquisas Processos nº 2014/10656-3 e 2016/14323-4. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do(s) autor(es) e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação, Doglas Bassegio, Jéssyca Dellinhares Lopes Martins, Michely da Silva Alves, Carlos Pires, Johanie Zayas, Edwin Akely entre outros, pelo convívio, amizade e companheirismo. Aos demais amigos de Pós-Graduação, pelo companheirismo de sempre.

A todos aqueles que, de alguma maneira, contribuíram para a realização desse trabalho. Muito obrigado.

## RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram investigar a contribuição do sistema radicular de eucalipto e *U. brizantha*, no sequestro de carbono, e as propriedades microbiológicas do solo em sistema integrado de produção agropecuária. O sistema era composto por 2 eucaliptos, *E. grancam* e *E. urograndis*, integrados com a forrageira [*Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R. Webster 'Marandu'] em região tropical. A inserção do eucalipto em área de pastagem reduz a produtividade de forragem até pelo menos 2 m de distância do eucalipto. A produtividade de forragem integrada aumenta ao longo do transecto de 1,7 Mg ha<sup>-1</sup> a 0 m para 4,45 Mg ha<sup>-1</sup> aos 6 m do eucalipto. A densidade de comprimento radicular é modificada mais na superfície do solo principalmente até 0,4 m, sendo que a inserção do eucalipto em área de pastagem reduz a densidade de comprimento, densidade e diâmetro radicular. As quantidades de raízes de eucalipto (C<sub>3</sub>) são mais abundantes próximo das árvores, e são reduzidas com a distância do eucalipto até 1 m de profundidade. A quantidade total de raízes no solo é menor com a inserção do componente florestal em área de pastagem bem manejadas, de 11,6 Mg ha<sup>-1</sup> em sistema integrado de produção para 18,4 Mg ha<sup>-1</sup> na pastagem a pleno sol, correspondendo a redução de 36 % na quantidade de raízes no solo até 1 m de profundidade. Os estoques de C variaram de 62–65 Mg ha<sup>-1</sup> no sistema integrado de produção, não diferindo entre os eucaliptos, e nem quanto às distâncias do eucalipto, o sistema integrado de produção manteve os estoques de C próximo da condição inicial (66 Mg ha<sup>-1</sup>). Os estoques de C foram maiores na pastagem que no sistema integrado de produção agropecuária apenas na camada de 0-0,20 m de profundidade. A análise isotópica do solo não revelou mudança nos valores δ<sup>13</sup>C em função da inserção do eucalipto (C<sub>3</sub>) no SIPA até 1 m. No sistema integrado há estratificação da umidade do solo, com menor umidade do solo próximo ao eucalipto. Apesar do aumento atividade enzimática no solo em sistema integrado, a inserção de eucaliptos na área de pastagem não afetou as propriedades microbianas do solo.

**Palavras-chave:** Biomassa microbiana. C<sub>3</sub>. C<sub>4</sub>. Competição. Distribuição radicular. Enzimas extracelulares. Sistema agroflorestal. Sequestro de carbono.



## ABSTRACT

The objective of this work was to investigate the contributions of the eucalyptus and *U. brizantha* root system, carbon sequestration, and microbiological soil properties in an integrated crop-livestock system (ICLS). The system was composed of two eucalyptus, *E. granicam* and *E. urograndis*, integrated with a forage [*Urochloa brizantha* (Hochst. Ex A. Rich.) R. Webster 'Marandu'] in a tropical region. The insertion of eucalyptus in a pasture area reduces forage production up to 2 m away from the eucalyptus. An integrated forage yield increased along the transect from 1.7 Mg ha<sup>-1</sup> to 0 m to 4.45 Mg ha<sup>-1</sup> to 6 m of eucalyptus. The root length density was modified more in the soil surface, up to 0.4 m, than deep in the soil and the insertion of the eucalyptus in the pasture area reduced the density of length, overall density, and root diameter of the eucalyptus. The amounts of eucalyptus (C<sub>3</sub>) roots are more abundant near the trees and most of these are within a depth of 1 m. The total amount of non-soil roots is lower with an insertion of the forest component in a well-managed pasture area, from 11.6 Mg ha<sup>-1</sup> in an integrated production system to 18.4 Mg ha<sup>-1</sup> in the pasture in full sun, corresponding to a 36% reduction in the amount of roots in the soil up to 1 m in depth. C stocks ranged from 62-65 Mg ha<sup>-1</sup> without an integrated production system, not differing between eucalyptus, nor even at the distances of eucalyptus, and the integrated production system maintained C stocks close to the initial condition (66 Mg ha<sup>-1</sup>). C stocks were higher in the production of an integrated agricultural production system only in the layer 0-0.20 m deep. The soil isotopic analysis showed no change in δ<sup>13</sup>C values as a function of the insertion of eucalyptus (C<sub>3</sub>) in ICLS up to 1 m. In the integrated system there is stratification of the soil unit, with lower soil moisture near the eucalyptus. Despite increasing enzymatic activity, there is no soil in an integrated system, an insertion of eucalyptus in the area of unaffected passage as microbial property of the soil.

**Keywords:** Microbial biomass. C<sub>3</sub>. C<sub>4</sub>. Competition. Root distribution. Extracellular enzymes. Agroforestry system. Carbon sequestration.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1 - Interação radicular em sistema integrado de produção agropecuária .....</b>	<b>20</b>
Resumo.....	20
Abstract.....	21
1.1 Introdução .....	21
1.2 Material e Métodos.....	23
1.3 Resultados .....	29
1.4 Discussão.....	38
1.5 Conclusões.....	41
1.6 Agradecimentos .....	42
Referências .....	42
<b>CAPÍTULO 2 - Contribuição do eucalipto integrado com <i>U. Brizantha</i> para a matéria orgânica do solo.....</b>	<b>47</b>
Resumo.....	47
Abstract.....	47
2.1 Introdução .....	48
2.2 Material e Métodos.....	49
2.3 Resultados .....	54
2.4 Discussão.....	58
2.5 Conclusões.....	60
2.6 Agradecimentos .....	61
Referências .....	61
<b>CAPÍTULO 3 - Atividade microbiológica do solo em sistema integrado de produção agropecuária .....</b>	<b>64</b>
RESUMO.....	64
ABSTRACT .....	65
3.1 Introdução .....	65
3.2 Material e Métodos.....	67
3.3 Resultados .....	72
3.4 Discussão.....	82
3.5 Conclusões.....	86

Agradecimentos.....	87
Referências .....	87
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>95</b>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese de que a inserção do eucalipto em áreas de pastagem pode modificar a quantidade e distribuição do sistema radicular das espécies em profundidade, o crescimento das plantas forrageiras, os estoques de C e N no solo além das propriedades microbiológicas foram confirmados.

A inserção do eucalipto em área de pastagem modifica a produtividade de forragem, a densidade de comprimento radicular, e a quantidade de raízes das diferentes espécies até 1 m de profundidade. A quantidade total de raízes no solo é menor com a inserção do componente florestal em área de pastagem bem manejada até 1 m de profundidade.

Os estoques de C variaram de 62–65 Mg ha<sup>-1</sup> no sistema integrado de produção, não diferindo entre os eucaliptos, e nem quanto às distâncias do eucalipto, no entanto, sistema integrado de produção manteve os estoques de C próximo da condição inicial (66 Mg ha<sup>-1</sup>). A análise isotópica do solo não revelou mudança nos valores  $\delta^{13}\text{C}$  em função da inserção do eucalipto (C<sub>3</sub>) no SIPA até 1 m.

O sistema integrado de produção agropecuária mostrou estratificação da umidade do solo, com menor umidade do solo próximo à linha de plantio de eucalipto.

Após oito anos de inserção do eucalipto na pastagem, na linha de plantio do eucalipto e na pastagem apresentaram os estoques de C e N semelhantes ao Cerrado nativo, mostrando o potencial do sistema integrado para conservar os estoques de C e N, com incremento nas atividades enzimáticas extracelulares do solo. No entanto, a distribuição dos agregados do solo foi semelhante no sistema integrado, na pastagem e na vegetação nativa (Cerrado).

A comunidade microbiana do solo não é afetada pela introdução do eucalipto no sistema, mas é maior na vegetação do Cerrado. Os efeitos do sistema integrado na umidade do solo, tamanho agregado, enzimas do solo e comunidades microbianas não são dependentes dos eucaliptos.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.G.; COSTA, G.S.; FARIA, S.M. Deposição e decomposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa caesalpinifolia*, *Acacia mangium* e *Acacia holosericea* com quatro anos de idade em planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 777-785, 2000.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. i-xii, out. 2011.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSKI, J.; GALERANI, P. R.; VILELA, L. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura Pecuária-Floresta (ILPF). **Informações Agronômicas IPNI**, n. 138, p. 1-18, jul. 2012.
- BAUHUS, J.; KHANNA, P.K.; MENDEN, N. Aboveground and belowground interactions in mixed plantations of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 30, n. 12, p. 1886-1894, 2000.
- CASPER, B. B.; JACKSON, R.B. Plant competition underground. **Annual Review of Ecological Systems**, Palo Alto, v. 28, p. 545-570, 1997.
- DIEL, D.; BEHLING, M.; FARIAS NETO, A.L. DE; ISERNHAGEN, E. C. C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.8, p. 639- 647, ago. 2014.
- DIXON, R.K. Agroforestry systems: source or sinks of greenhouse gases? **Agroforestry Systems**, 31: 99-116, 1995.
- DOCHERTY, K.M.; GUTKNECHT, J.L.M. The role of environmental microorganisms in ecosystem responses to global change: current state of research and future outlooks. **Biogeochemistry**, v. 109, p. 1–6, 2012.
- FORRESTER, D. I. et al. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, 2006.
- FREITAS, E.C.S. de; OLIVEIRA NETO, S.N. de; FONSECA, D.M. da; SANTOS, M.V.; LEITE, H.G.; MACHADO, V.D. Deposição de serapilheira e de nutrientes no solo em sistema agrossilvipastoril com eucalipto e acácia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 409-417, 2013.
- GALIANA, A. et al. Nitrogen fixation estimated by the <sup>15</sup>N natural abundance method in *Acacia mangium* Willd. Inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and grown

in silvicultural conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 34, n. 2, p. 251-262, 2002.

GARCIA, A. R. et al. Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1409-1414, 2011.

GUPTA, V. V. S. R.; GERMIDA, J. J. Distribution of microbial and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biol. Biochem.** v. 20, p. 777-786, 1988.

HAYNES, R. J.; SWIFT, R. S. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content. **J. Soil Science.** v. 41, p. 73-83, 1990.

JOSE, S.; GILLESPIE, A. R.; PALLARDY, S. G. Interspecific interactions in temperate agroforestry. **Agroforestry Systems**, v. 61-62, n. 1, p. 237-255, 2004.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1-10, 2009.

KAMAA, M. et al. Effects of organic and inorganic fertilization on soil bacterial and fungal microbial diversity in the Kabete long-term trial, Kenya. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, p. 315–321, 2011.

KAYE, P. J. et al. Nutrient and carbon dynamics in a replacement series of Eucalyptus and Albizia trees. **Ecology**, v. 81 n. 12, p. 3267-3273, 2000.

LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1269-1276, 2011.

MAJDI, H. et al. Fine root turnover in forest ecosystems. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 276, p. 1-8, 2005.

MARTIN, K. J.; POSAVATZ, N. J.; MYROLD, D. D. Nodulation potential of soils from red alder stands covering a wide age range. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 254, p. 187-192, 2003.

McCORMACK, M. L. et al. Redefining fine roots improves understanding of below-ground contributions to terrestrial biosphere processes. **New Phytologist**, London, v. 207, p. 505–518, 2015.

MENDES, I. C. et al. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 31p. (Doc. 246).

MERCANTE, F. M. et al. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 4, p. 479-485, 2008.

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

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

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

OELBERMANN, M.; VORONEY, P. Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: Using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics. **Ecological Engineering**, V. 29, n. 4, p. 342-349, 2007.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Ecologia e manejo em sistema silvipastoril. In: FERNANDES, E. N.; PACUILLO, D. S.; CASTRO, C. R. T. de; MULLER, M. D.; ARCURI, P. B.; CARNEIRO, J. da C. (Ed.). **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. p. 51-67.

PRENTICE, I. C. et al. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: HOUGHTON, J.T.; DING, Y.; GRIGGS, D.J.; NOGUER, M., et al. (ED). Climate change 2001: The scientific Basis. In **ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) 3**. 2001. Cambridge working Group... Cambridge University Press, Cambridge, 2001. p. 183-237.

QUECINE, M.C. et al. Sugarcane Growth Promotion by the Endophytic Bacterium *Pantoea agglomerans* 33.1. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, p. 7511-7518, 2012.

ROUSSEAU, G.X. et al. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. **Ecological Indicators**, v. 23, p. 535–543, 2012.

SHIBU, J.; WILLIAMS, R.; ZAMORA, D. Belowground ecological interactions in mixed-species forest plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 233, p. 231-239, 2006.

SILVA, J. A. R. et al. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na Amazônia Oriental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1364-1371, 2011.

SILVER, W.L. et al. Fine root dynamics and trace gas fluxes in two lowland tropical forest soils, **Global Change Biol.**, v. 11, p. 290-306, 2005.

SINGH, B.K. et al. Impact of biotic and abiotic interaction on soil microbial communities and functions: A field study. **Applied Soil Ecology**, v. 41, p. 239–248, 2009.

SIX, J. et al. Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 70, p. 555–569, 2006.

SIX, J. et al. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. **Global Change Biology**, v. 10, p. 155–160, 2004.

SPACCINI, R. et al. Carbohydrates in water-stable aggregates and particle size fractions of forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems. **Biogeochemistry**, v. 22, p. 1-22, 2001.