

Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo e Biomassa Florestal em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Cerrado



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
371**

**Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo e
Biomassa Florestal em Sistema de Integração
Lavoura-Pecuária-Floresta no Cerrado**

Karina Pulrolnik
Lourival Vilela
Isabel Cristina Ferreira
Kleberon Worsley de Souza

Exemplar desta publicação disponível gratuitamente
no link: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t>
(Digite o título e clique em "Pesquisar")

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
embrapa.br/cerrados
embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade

Presidente
Lineu Neiva Rodrigues

Secretária-executiva
Alessandra Duarte de Oliveira

Secretária
Alessandra S. G. Faleiro

Membros
Alessandra Silva Gelape Faleiro; Alexandre Specht; Edson Eyji Santo; Fábio Gelape Faleiro; Gustavo José Braga; Jussara Flores de Oliveira Arbues; Kleberson Worsley Souza; Maria Madalena Rinaldi; Shirley da Luz Soares Araujo

Supervisão editorial
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de texto
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de abstract
Margit Bergener L. Guimarães

Normalização bibliográfica
Shirley da Luz Soares Araújo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Leila Sandra Gomes Alencar

Foto da capa
Karina Pulrolnik

1ª edição
1ª impressão (2021): tiragem 30 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

E81 Estoques de carbono e nitrogênio no solo e biomassa florestal em sistema de
integração lavoura-pecuária-floresta no cerrado / Karina Pulrolnik... [et al.]. –
Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2021.

23 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN
1676-918X, ISSN online 2176-509X, 371).

1. Efeito estufa. 2. Carbono. 3. Nitrogênio. 4. Eucalipto. 5. Gado de leite.
I. Pulrolnik, Karina. II. Embrapa Cerrados. III. Série.

CDD (21 ed.) 636.2

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	9
Resultados e Discussão	13
Conclusões.....	20
Agradecimentos.....	20
Referências	21

Estoques de Carbono e Nitrogênio no Solo e Biomassa Florestal em Sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no Cerrado

Karina Pulrolnik¹

Lourival Vilela²

Isabel Cristina Ferreira³

Kleber Worsley de Souza⁴

Resumo – A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais. A intensificação do uso do solo por meio dos sistemas integrados com árvores proporciona a diversificação de renda para o produtor, conforto térmico para os animais e a compensação das emissões de gases de efeito estufa – GEE. Desde que o componente arbóreo seja manejado adequadamente, o sistema tem grande potencial de acumular carbono. O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito do sistema ILPF sobre os estoques e teores de carbono e nitrogênio no solo e o crescimento e a produção de biomassa das árvores de eucalipto, com foco na pecuária de leite. A biomassa média do fuste foi de 47,2 Mg ha⁻¹. O estoque de carbono no fuste foi de 21,24 Mg ha⁻¹. O estoque de carbono na camada de 0 cm a 100 cm do solo no sistema ILPF foi 10,4% superior ao estoque de carbono no sistema ILP e o estoque de nitrogênio no sistema ILPF foi 19,5% superior ao sistema ILP. O sistema ILPF tem grande potencial de armazenar carbono por meio da estocagem no solo e nas árvores e consequentemente mitigar as emissões dos GEE's.

Termos de indexação: sistemas integrados, gado de leite, eucalipto.

¹ Engenheira florestal, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

² Engenheiro-agrônomo, mestre em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

³ Médica-veterinária, doutora em Zootecnia, pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Soil Carbon and Nitrogen Stocks and Forest Biomass in Integrated Crop-Livestock-Forest Systems in the Cerrado

Abstract – An integrated crop-livestock-forest system (ICLF) is a sustainable production strategy that integrates agricultural, livestock and forestry activities. The intensification of land use through systems integrated with trees provides income diversification for the farmer, thermal comfort for animals and offsets greenhouse gas emissions - GHG. If the forestry component is properly managed, the system has great potential to accumulate carbon. The objective of this study is to evaluate the effects of the ICLF system on the stocks and contents of carbon and nitrogen in the soil and the growth and biomass production of eucalyptus trees, with a focus on dairy farming. The average biomass of the tree trunks was 47.2 Mg ha⁻¹ and their carbon stock was 23.6 Mg ha⁻¹. The carbon stock in the 0 cm-100 cm soil layer with the ICLF system was 10.4% higher than the carbon stock in the same layer with the ICL system. The nitrogen stock in the soil under the ICLF system was 19.5% higher than that in the ICL system. The ICLF system has great potential for storing carbon in the soil and trees and as a result for mitigating GHG emissions.

Indexing terms: integrated systems, dairy cattle, eucalyptus.

Introdução

A área do Bioma Cerrado no Brasil compreende um total de 204,7 milhões de hectares, equivalente a 24% do território brasileiro (Alvarenga et al., 2011). A principal forma de uso das terras no Cerrado é a pastagem cultivada, correspondendo a 29% da área total, seguida por agricultura anual e perene, que ocupa 12% do bioma, sendo mais comum seu uso nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e São Paulo (MMA, 2015). Portanto, aproximadamente 54 milhões de hectares são ocupados com pastagens cultivadas no Cerrado (Sano et al., 2008), dos quais mais de 50% encontram-se em algum estágio de degradação (Andrade et al., 2017). As pastagens degradadas, além da baixa produtividade, são menos eficientes em relação à pegada de carbono, especialmente quando calculada a quantidade de alimento produzido pela quantidade de gás de efeito estufa (GEE) emitido para a atmosfera. Não obstante, as emissões provenientes diretamente dos animais, na atividade pecuária, contribuem ainda mais para um balanço negativo de carbono no sistema.

A integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotação, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (Balbino et al., 2011, Vilela et al., 2011, Kluthcouski et al., 2015). É um sistema de produção propício para alcançar produtividades satisfatórias e compensar emissões de GEE's provenientes da atividade agropecuária, proporcionando um balanço positivo de carbono (Oliveira et al., 2017).

O alto teor de matéria orgânica (MO) na superfície do solo é um dos principais benefícios dos sistemas integrados, quando associados às práticas de manejo e conservação do solo. Isto porque essas práticas melhoram as condições físicas, químicas e biológicas do solo, enquanto o cultivo de monocultura sob o sistema convencional por alguns anos ocasiona a perda de MO e, conseqüentemente, compromete a qualidade do solo (Assad et al., 2019). Além disso, promover o acúmulo de matéria orgânica no solo (MOS) é uma excelente maneira de estocar carbono, retirando-o da atmosfera, proporcionando maior sustentabilidade do sistema agrícola. O manejo adequado do

solo com base no incremento de carbono orgânico do solo em regiões mais secas, em que a capacidade de absorção de umidade do solo é incrementada por meio da matéria orgânica, constitui uma estratégia para se ultrapassar as restrições hídricas (Glenk et al., 2017).

A intensificação do uso do solo por meio dos sistemas integrados (ILPF) com árvores pode proporcionar resultados positivos, diversificando a renda do produtor, propiciando ambiência mais favorável para o crescimento e a produção dos animais e a compensação das emissões de GEE por meio dos estoques de carbono no solo e na biomassa das árvores. No entanto, é necessário que o componente arbóreo seja implantado e manejado adequadamente. Uma das espécies com maior potencial de utilização no sistema de ILPF é o eucalipto, devido ao seu rápido crescimento, à oferta de clones adaptados a diferentes regiões, à arquitetura de copa favorável e ao elevado rendimento econômico, que proporciona usos múltiplos com a produção de multiprodutos madeireiros e não madeireiros (Porfirio-da-Silva et al., 2015, Pulrolnik et al., 2019).

A área total de árvores plantadas no Brasil alcançou 7,83 milhões de hectares em 2018 e o estoque de CO₂ equivalente (CO₂ eq) do segmento somou 4,2 bilhões de toneladas, com os plantios de eucalipto ocupando uma área de 5,7 milhões de hectares, o que representa 73% do total da área de floresta plantada no país (IBÁ, 2019). O setor de árvores plantadas é um dos mais aptos a fortalecer os objetivos do Brasil no Acordo de Paris, que prevê reduzir as emissões dos GEEs em 43% frente à realidade de 2005; restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas; incentivar a integração de lavoura, pecuária e floresta (ILPF) em 5 milhões de hectares; zerar o desmatamento ilegal; atingir 45% de energias renováveis, sendo 18% em bioenergia e expandir o consumo por biocombustíveis (IBÁ, 2019). Como parte dos compromissos de redução das emissões de GEE, assumidos pelo país por meio do Plano ABC estabeleceu-se uma meta de adoção de quatro milhões de hectares de sistemas ILPF com potencial estimado de mitigação da ordem de 18 milhões a 22 milhões Mg CO₂ eq (Brasil, 2012).

Dessa maneira, a adoção de sistemas de ILPF, visando a intensificação sustentável, pode convergir para uma estratégia de produção agropecuária mais eficiente em relação à pegada de carbono, tanto pelo aumento da matéria orgânica do solo como pela fixação de carbono na biomassa vegetal do

componente florestal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do sistema ILPF sobre os estoques e teores de carbono e nitrogênio no solo e o crescimento e a produção de biomassa das árvores de eucalipto, com foco na pecuária de leite.

Material e Métodos

Foi implantada no ano de 2013, em Brasília, DF, no Centro de Transferência de Tecnologia de raças Zebuínas com aptidão leiteira (CTZL), Embrapa Cerrados (15° 57'09" S, e 48° 08'12" W, altitude de 998 m), uma área experimental de aproximadamente 16 ha, com dois sistemas: integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta, com foco na produção de leite. O solo da área experimental é Latossolo Vermelho distrófico típico com relevo plano a suavemente ondulado e declive médio em torno de 3% (Figura 1). O clima da região é Aw, com temperatura média do ar anual de 21,1 °C e precipitação média anual de 1.668 mm, distribuída predominantemente de novembro a abril. A área de cada sistema é de aproximadamente 8 ha, subdividida em 12 piquetes, mais a área de descanso. Neste trabalho, o sistema ILP será considerado como um tratamento controle. O ILPF foi implantado com mudas de eucalipto estabelecidas em fevereiro de 2013, mediante 13 renques simples, com espaçamento de 1,5 m entre plantas e de 25 m entre renques, associadas ao cultivo de grãos e ou pastagem, totalizando cerca de 2 mil árvores na área total e cerca de 267 árvores por hectare. A adubação de implantação das mudas de eucalipto foi realizada na cova com 300 g de 4-30-16 + Zn e, em junho de 2013, foi aplicado, na área total, 2 t/ha de calcário dolomítico PRNT 67%, sem incorporação. Na área experimental, em fevereiro de 2013, com o eucalipto, foi plantado o sorgo; no ano de 2014, plantou-se a *Brachiaria brizantha* BRS Piatã; em 2015/2016, foi introduzida a soja e, no ano de 2017, a espécie forrageira utilizada nas áreas de ILP e ILPF foi a *Panicum maximum* cv Mombaça, que permanece na área atualmente. Com exceção das árvores, as áreas de ILP e ILPF sofreram os mesmos tratamentos culturais. A área de ILPF compreende 13 linhas de eucalipto, 11 linhas do híbrido de eucalipto urograndis (*E. urophylla* x *E. grandis*) (clone GG100) e a bordadura contendo duas linhas do híbrido urocam (*E. urophylla* x *E. camaldulensis*). Quanto ao componente animal, nos três primeiros anos (2013 a 2015), foram introduzidas, na área, novilhas

da raça zebuína (Girolando e Gir), a partir do quarto ano, foram introduzidas vacas em lactação (Girolando e Gir) em pasto rotacionado. No ano de 2018, em razão de o sombreamento das árvores prejudicar o desenvolvimento das forrageiras, foi realizado um desbaste, com a retirada de cerca de 50% das árvores (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1. Número de árvores antes (anos de 2013 e 2018) e após (ano de 2019) o desbaste do eucalipto realizado em agosto de 2018 na área experimental de ILPF (7,4 ha) – leite na Embrapa Cerrados, CTZL.

	2013	2018	2019
Número de árvores total	1.963	1.880	999
Número de linhas	13	13	12
Número de linhas com GG100	11	11	11
Número de árvores de GG100	1.563	1.482	826

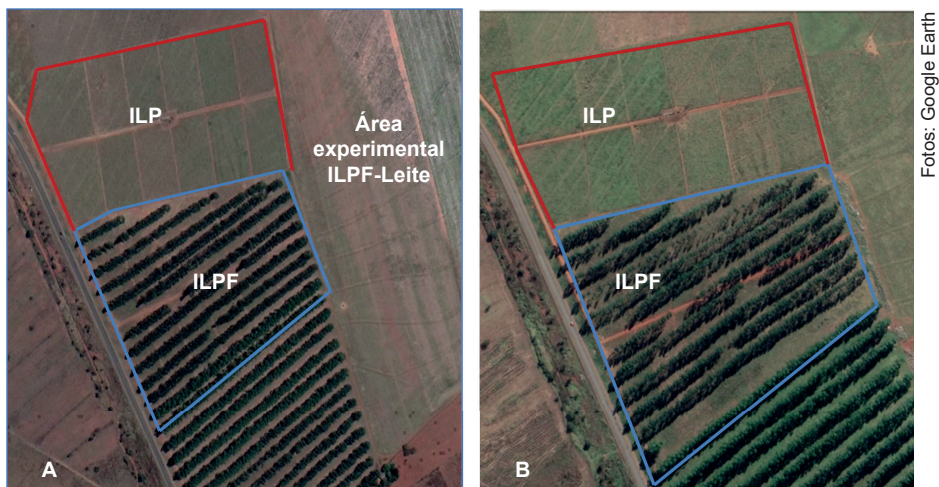


Figura 1. Disposição das áreas de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na área experimental localizada em Brasília, DF, no Centro de Transferência de Tecnologia de raças Zebuínas com aptidão leiteira (CTZL), Embrapa Cerrados. (A) Ano de 2018 antes do desbaste do eucalipto; (B) Ano de 2019 após o desbaste.

Desenvolvimento das árvores

As avaliações do crescimento das árvores foram realizadas nos anos de 2016 a 2019, quando foram medidos os diâmetros à altura do peito (DAP), com o auxílio da suta e as alturas (H) das árvores com o auxílio do hipsômetro Vertex IV. O DAP foi mensurado em todas as árvores da área experimental e as alturas foram medidas em cerca de 20% delas. O volume foi calculado utilizando-se a fórmula:

$$V = g \cdot h \cdot f$$

Em que:

V= volume total (m³).

g= área basal (m²).

h= altura.

f= fator de forma (Finger, 1992).

O valor do fator de forma utilizado foi 0,5.

Quantificação da biomassa florestal

Em agosto/setembro de 2019, quando as árvores estavam com 6 anos de idade, foram realizados o corte e a cubagem de nove árvores de eucalipto urograndis (clone GG100) para a quantificação da biomassa florestal aérea (Figura 2) em três diferentes classes diamétricas analisadas por meio de análise de frequência. As árvores foram separadas em suprimidas (Classe 1: DAP < 24,9 cm); medianas (Classe 2: DAP entre 25 cm e 29,2 cm) e superiores Classe 3: DAP > 29,3 cm) (Figura 3). Assim, três árvores por classe de diâmetro foram cubadas pelo método de Smalian (Finger, 1992), e os componentes tronco (fuste), casca, galhos, folhas e copa (considerada com DAP inferior à altura comercial – DAP inferior a 5 cm) foram separados e quantificados na totalidade e amostras de campo foram retiradas e secadas na estufa a 65 °C até atingir massa constante para o cálculo da matéria seca das diferentes frações das árvores. Na amostragem do tronco e da casca, foram retirados cinco discos de aproximadamente 2 cm de espessura ao longo do fuste: 0% (base); 25%; 50%; 75% e 100% da altura total.



Foto: Karina Pulroinik

Figura 2. Pesagem do tronco de eucalipto na área experimental de ILPF (experimento de integração lavoura-pecuária-floresta) localizado em Brasília, DF, no Centro de Transferência de Tecnologia de raças Zebuínas com aptidão leiteira (CTZL), Embrapa Cerrados.

Teores e estoques de carbono e nitrogênio no solo

Foram coletadas em junho de 2019, três amostras compostas de solo até 1 m de profundidade nas camadas de 0 cm a 5 cm; 5 cm a 10 cm; 10 cm a 20 cm; 20 cm a 30 cm; 30 cm a 40 cm; (advindas de 20 amostras simples); 40 cm a 60 cm; 60 cm a 80 cm e 80 cm a 100 cm (advindas de 5 amostras simples). As amostras foram secas ao ar (TFSA) e submetidas às análises químicas e físicas. Para a avaliação da densidade aparente do solo (DA), foram coletadas amostras indeformadas nas mesmas camadas citadas acima, por meio de abertura de trincheiras de 120 cm de profundidade. As amostras para DA foram retiradas em duplicata em cada camada (no meio do intervalo), usando-se duas paredes alternadas da trincheira, com cilindros de aço inox, de parede fina, de 4 cm a 5 cm de diâmetro e 5 cm a 8 cm de comprimento (Figura 3), conforme procedimento do manual de análise do solo da Embrapa (Embrapa, 1997). Os dados da DA foram utilizados para o cálculo dos estoques de carbono e de nitrogênio. As amostras de solo para

análise de C e N foram moídas em almofariz de ágata, passadas em peneira de 0,150 mm de abertura de malha e submetidas à determinação do teor de carbono (C) total e nitrogênio (N) total por análise elementar com combustão a seco no equipamento Macro Vario Cube da Elementar. O estoque de C e de N acumulados, em cada camada dos perfis de solo, foi calculado pelo método da massa equivalente de solo (Sisti et al., 2004).



Foto: Karina Pujolnik

Figura 3. Coleta de amostras indeformadas do solo na área experimental de ILPF (experimento de integração lavoura-pecuária-floresta) localizado em Brasília, DF, no Centro de Transferência de Tecnologia de raças Zebuínas com aptidão leiteira (CTZL), Embrapa Cerrados.

Resultados e Discussão

Desenvolvimento das árvores

Aos 6 anos de idade (ano de 2019) as árvores do clone GG100 atingiram o DAP médio individual de 26,8 cm, altura média de 27,8 m e volume médio de 0,78 m³ (Tabela 2). Gontijo Neto et al. (2018) avaliaram um sistema de integração pastagem-floresta (IPF) localizado em Curvelo, MG, em três piquetes

com linhas de eucalipto do clone I144 em pastagem de braquiária espaçadas de 12 m a 15 m entre fileiras com cerca de 333 árvores por hectare e observaram, aos 4,5 anos de idade das árvores, DAP médio de 17,1 cm, altura média de 20,1 m e estoque de madeira de 58,6 m³ ha⁻¹. Em outro trabalho realizado em povoamento adensado de eucalipto (clone GG 100) aos 5 anos de idade, com 1.333 árvores por hectare em Minas Gerais, Santos et al. (2017) encontraram valores de volume médio individual de 0,119 m³ a 0,141 m³, ou seja, valores inferiores aos encontrados no experimento avaliado pelo presente estudo (Tabela 2). Comparando os resultados deste trabalho com outros estudos, o volume médio individual foi superior ao encontrado em sistemas integrados mais adensados e monocultivos de eucalipto. Isso pode ser atribuído a menor competição por água e nutrientes e maior luminosidade recebida pelas plantas e também porque o eucalipto se beneficia da correção e adubação utilizadas nas culturas intercalares (grãos e pastagem). No entanto, pode haver menor produtividade final de madeira devido a menor quantidade de árvores no ILPF quando comparado com os povoamentos adensados.

Tabela 2. Médias do crescimento individual em DAP (cm), altura total (H) (m), volume de madeira (V) (m³) e incremento médio anual em V (IMA-V) (m³) das árvores do clone GG100 aos 3, 4, 5, 6 anos de idade (2016, 2017, 2018 e 2019) no sistema ILPF.

	2016	2017	2018	2019 (após desbaste)
DAP (cm)	16,90	20,60	23,70	26,80
H (m)	15,98	20,27	24,72	27,82
V (m ³)	0,179	0,338	0,540	0,784
IMA-V (m ³)	0,045	0,068	0,090	0,112

O volume médio de eucalipto do clone GG100 com 5 anos de idade (ano de 2018), antes do desbaste foi de 135 m³ ha⁻¹ (Figura 4). O desbaste realizado em agosto/setembro de 2018, onde foram cortadas cerca de 50% das plantas também proporcionou menor competição por água e nutrientes, aumentando o volume individual das árvores (0,784 m³) (Tabela 2). No ano de 2019, o volume de madeira foi de cerca de 102 m³ ha⁻¹, considerando 7,4 ha do clone GG100, o estoque de madeira na área experimental foi de 754,8 m³.

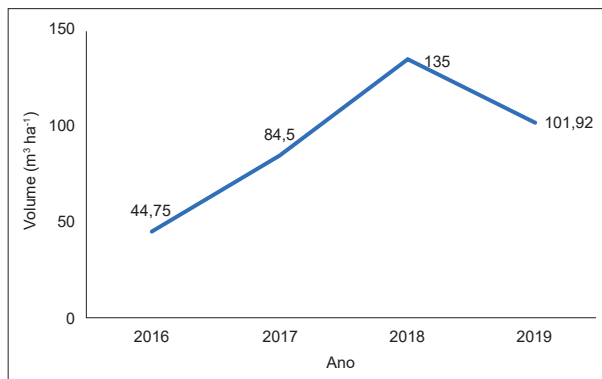


Figura 4. Volume de madeira (tronco) do clone GG100 no sistema ILPF.

O crescimento e o desenvolvimento de espécies em sistema silvipastoril (SSP) são influenciados pela qualidade e intensidade da radiação que chega ao sub-bosque (Soares et al., 2009). O ajuste do espaçamento entre árvores é uma das alternativas para promover o crescimento harmônico entre árvores e plantas forrageiras. O uso de desbastes no SSP pode, dependendo do grau de intensidade, diminuir a produção final de madeira, propiciando maior entrada de luz no interior do sub-bosque e permitindo ao componente forrageiro maior produtividade e, conseqüentemente, melhor desempenho animal (Castilhos et al., 2009). Por meio de desramas e desbastes em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, é feito o manejo das copas das árvores para regular o sombreamento, de modo que permita a manutenção da produtividade da pastagem sem tirar a sombra para o gado, ou seja, manter uma sombra que favoreça o bem-estar do gado sem prejudicar o crescimento da forrageira.

Biomassa florestal

A média da biomassa florestal da parte aérea das três classes diamétricas foi de 459,2 kg por árvore (Tabela 3). Considerando-se 130 árvores por hectare e a área do sistema ILPF de 7,4 ha, a biomassa total aérea das árvores no ano de 2019 foi de 441,7 Mg e a biomassa total por hectare foi de 59,7 Mg (Tabela 3). A biomassa média do fuste foi de 47,2 Mg ha⁻¹. Em um estudo realizado por Tsukamoto Filho (2003), em sistema silvipastoril com eucalipto

em Minas Gerais, na densidade de 250 árvores por hectare foi observado aos 10 anos de idade uma produção de 107,96 Mg ha⁻¹ de biomassa de fuste, ou seja, 0,43 Mg por árvore. Em outro estudo realizado por Muller et al. (2009), em um sistema silvipastoril misto com 10 anos de idade e com 105 árvores por hectare, sendo 60 árvores de *Eucalyptus grandis* e 45 árvores de *Acacia mangium*, os autores encontraram o valor de 0,41 Mg de biomassa seca de fuste por planta para o eucalipto. Esses valores foram semelhantes aos encontrados no presente estudo (0,36 Mg de biomassa média de fuste por planta), no entanto, as árvores deste estudo foram avaliadas aos 6 anos de idade, ou seja, aos 10 anos de idade esse valor de biomassa será maior.

O IPCC (2003) recomenda o uso do fator de conversão referencial de 0,5 para o teor de carbono, considerando que 50% da biomassa seca seja constituída por carbono. No presente estudo, foi utilizado um fator de conversão mais conservador, em que considerou-se 45% do peso seco do fuste como carbono, assim o estoque de carbono no fuste foi de 21,24 Mg ha⁻¹.

Assim, neste estudo da quantificação da biomassa total aérea da árvore, 79,1% da biomassa estava alocada no fuste, 9,5% nos galhos, 6,7 % na casca, 3,6% nas folhas e 1,1% na copa da árvore, e dados semelhantes a esses foram encontrados por Paixão (2004).

Tabela 3. Partição da biomassa da parte aérea (kg) por árvore, nas classes diamétricas e respectiva biomassa por área (t ha⁻¹) do clone GG100.

Componente	Biomassa por árvore (kg)				Desvio padrão	Biomassa por área
	Classe 1*	Classe 2*	Classe 3*	Média das classes		
Fuste	253,01	373,03	463,96	363,33	105,81	47,23
Casca	20,45	30,2	39,91	30,19	9,73	3,92
Folhas	9,98	17,77	21,64	16,46	5,94	2,14
Galhos	13,49	37,73	80,26	43,83	33,80	5,7
Copa	3,34	5,85	6,9	5,36	1,83	0,7
Biomassa aérea	300,27	464,58	612,67	459,17		59,69

*Classe 1 (DAP < 24,9 cm), Classe 2 (DAP entre 25 cm e 29,2 cm), Classe 3 (DAP > 29,3 cm).

Teores e estoques de C e N no solo

Os valores de teor de C do solo em sistema ILPF variaram de 32,32 g kg⁻¹ na camada de 0 cm a 5 cm para 12,57 g kg⁻¹ na camada de 80 cm a 100 cm. Os valores de teor de C para o sistema ILP foram em média 16% inferiores ao desse teor no ILPF, sendo o teor de C da camada de 0 cm a 5 cm do sistema ILP de 29,67 g kg⁻¹ e na camada mais profunda (80 cm a 100 cm) de 10,44 g kg⁻¹. Os valores de teor de carbono no solo foram maiores para o sistema ILPF quando comparados com o sistema ILP nas camadas de 0 cm a 10 cm e nas camadas de 40 cm a 80 cm (Tabela 4). O maior acúmulo de C no sistema ILPF, constatado no presente estudo, pode ter sido favorecido pela alta deposição da serapilheira do eucalipto no solo. Villa Nova et al. (2003) relata que maiores espaçamentos permitem maior acúmulo de nutrientes em folhas e galhos de eucalipto em relação a biomassa do tronco.

Tabela 4. Variação, em profundidade, dos teores de carbono (C) e nitrogênio do solo (N) no ILP e ILPF.

Camada (cm)	Teor de C (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾		Teor de N (g kg ⁻¹) ⁽¹⁾	
	ILPF	ILP	ILPF	ILP
0–5	32,32 a	29,67 b	3,17 a	2,61 b
5–10	26,48 a	23,78 b	2,69 a	2,18 a
10–20	24,71 a	20,90 a	2,55 a	1,79 a
20–30	21,34 a	17,14 a	1,99 a	1,75 b
30–40	18,74 a	15,09 a	1,88 a	1,48 b
40–60	16,23 a	12,46 b	1,68 a	1,35 a
60–80	13,91 a	11,38 b	1,76 a	1,45 b
80–100	12,57 a	10,44 a	1,55 a	1,21 b

(1) Letras diferentes na linha indicam diferenças significativas entre sistemas (p<0,05).

Os valores de teor de N no sistema ILPF foram 3,17 g kg⁻¹ na camada de 0 cm a 5 cm e de 1,55 g kg⁻¹ na camada de 80 cm a 100 cm. No ILP, o teor de N na camada de 0 cm a 5 cm foi de 2,61 g kg⁻¹ e de 1,21 g kg⁻¹ na camada de 80 cm a 100 cm (Tabela 4). Os valores de teor de N foram maiores no sistema ILPF quando comparado com o ILP nas camadas de solo de 0 cm a 5 cm, 20 cm a 40 cm e de 60 cm a 100 cm. No geral, os valores de teores e estoques de N seguiram a mesma tendência dos teores e estoques de C

no solo. Oliveira (2015) observaram que os teores de C e N no solo, tanto na camada de 0 cm a 30 cm quanto na camada de 0 cm a 100 cm, foram altamente relacionados entre si, dando suporte à hipótese de que, quando o solo se apresenta deficiente em N, essa situação pode ser limitante para a acumulação de C. A maior parte do N no solo apresenta-se ligada a compostos orgânicos, portanto, modificações na matéria orgânica do solo alteram significativamente os teores deste elemento no solo (Whithölter, 2000).

Para o ILPF, o estoque de C até 30 cm de profundidade foi de 83,4 Mg ha⁻¹ e, na camada de 30 cm a 100 cm, foi de 99,7 Mg ha⁻¹, ou seja, em média, 45% do carbono estava armazenado na camada de 0 cm a 30 cm e 55% do carbono estava armazenado na camada de 30 cm a 100 cm. Oliveira (2015), estudando estoques de carbono em sistemas de ILPF no município de Nova Canaã do Norte, MT, constatou que a camada de 0 cm a 30 cm foi responsável por armazenar em média 47% do carbono do solo, enquanto, na camada de 30 cm a 100 cm, o estoque foi de aproximadamente 53%. Os resultados do presente estudo são semelhantes aos dados encontrados por Oliveira (2015). Assim, apesar de o IPCC exigir, para projetos de crédito de carbono pelo protocolo de Kyoto, a avaliação dos estoques de carbono do solo até 30 cm de profundidade considerar uma camada de pelo menos 100 cm mostra-se importante quando da avaliação dos estoques de C no solo, especialmente em áreas em que espécies arbóreas e gramíneas com sistema radicular profundo estão presentes (Oliveira, 2015). No sistema ILP do presente estudo, foram observados resultados semelhantes aos encontrados no sistema ILPF quanto a percentagem de armazenamento do carbono nas camadas, em que 47,5% do carbono estava armazenado até 30 cm de profundidade e 52,5% do carbono estava armazenado na camada de 30 cm a 100 cm.

O estoque de carbono no sistema ILPF na camada de 0 cm a 100 cm foi 10,4% superior ao estoque de carbono no sistema ILP (Figura 5). Em seu estudo, Oliveira (2015) constatou que o componente florestal foi importante para o acúmulo de carbono no solo, pois, nas linhas das árvores, o estoque de carbono aumentou, relativamente à pastagem, tanto para a camada de 0 cm a 30 cm quanto para a camada de 0 cm a 100 cm, sob ambas as variações investigadas de ILPF – com uma linha e três linhas de árvores por renque. Pulrolnik et al. (2015), estudando os sistemas de ILPF e ILP em área de Cerrado aos 3 e 5 anos após a implantação do sistema, observaram que, aos 3 anos de idade, os valores de estoque de C foram de 137,85 Mg ha⁻¹

para ILP e 139,61 Mg ha⁻¹ para ILPF e, aos 5 anos de idade, os valores de estoque de C para ILP foram de 146,76 Mg ha⁻¹ e de 146,33 Mg ha⁻¹ para ILPF. Nas duas avaliações (aos 3 e 5 anos de idade), não houve diferenças significativas entre os dois sistemas. Macedo et al. (2015) verificaram maior acúmulo total de C no solo em sistemas ILP após 6 anos, quando este obteve maiores valores de carbono em comparação a sistemas ILPF com linhas simples ou duplas de árvores, concluindo que o sistema ILP (sem árvores) teve menor competição por luz, água e nutrientes, permitindo maior incremento de matéria orgânica do que o sistema ILPF. Já o experimento de ILPF em estudo tem o espaçamento maior, com cerca de 130 árvores por hectare, ou seja, com menor competição por água, luz e nutrientes do que o sistema de ILPF do estudo de Macedo et al. (2015).

O estoque de nitrogênio no sistema ILPF foi 19,5% superior ao encontrado no sistema ILP (Figura 5). No entanto, em seu estudo, Oliveira (2015) constatou diminuição no estoque de N no ILPF com uma linha de árvores e aumento no sistema de ILPF com três linhas de árvores, em comparação à pastagem, tanto na camada de 0 cm a 30 cm quanto na camada de 0 cm a 100 cm. Uma vez que a quantidade de N e, em geral, o estado nutricional do solo depende diretamente do uso da terra e manejo do sistema de produção, o manejo adequado da fertilidade do solo na ILPF é importante para o acúmulo de C no solo (Oliveira, 2015). Sacramento et al. (2013) observaram que a ILPF propiciou, após 13 anos de cultivo, as menores perdas de N no solo, seguido da ILF e monocultivos sob sistema convencional.

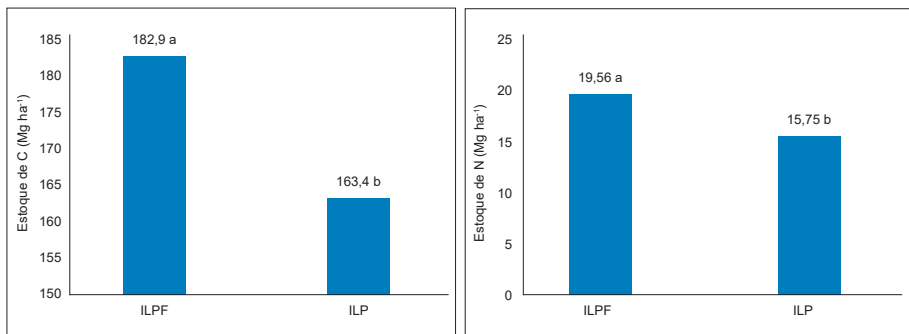


Figura 5. Estoques de carbono (C) e nitrogênio do solo (N) na camada de 0 cm a 100 cm na área experimental de ILP e ILPF. Barras seguidas por letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre sistema ($p < 0,05$).

Conclusões

O crescimento individual das árvores de eucalipto no experimento de ILPF foi superior ao de eucalipto de povoamentos adensados em todos os anos avaliados quando os dados foram comparados com outros estudos.

Os valores de teor de carbono no solo foram maiores para o sistema ILPF quando comparados com o sistema ILP nas camadas de 0 cm a 10 cm e nas camadas de 40 cm a 80 cm. Os valores de teor de N foram maiores no sistema ILPF quando comparados com o ILP nas camadas de solo de 0 cm a 5 cm, 20 cm a 40 cm e de 60 cm a 100 cm.

O estoque de carbono no solo de sistema ILPF até a profundidade de 0 cm a 100 cm foi 10,4% superior ao estoque de carbono no sistema ILP e o estoque de nitrogênio no sistema ILPF foi 19,5% superior ao sistema ILP.

Neste estudo, o sistema ILPF foi mais eficiente em armazenar nitrogênio e carbono por meio da estocagem no solo e armazenamento de carbono nas árvores quando comparado ao sistema ILP. Esses resultados confirmam o maior potencial do sistema ILPF em mitigar as emissões dos gases de efeito estufa. No entanto, é importante que as medições continuem a serem realizadas com o intuito de se avaliar as alterações nos estoques de C e N ao longo do tempo.

Agradecimentos

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) pelo apoio financeiro e logístico. Aos colegas do Setor de Laboratórios e de Campo da Embrapa Cerrados, que auxiliaram sempre com muita dedicação e responsabilidade, em especial Ironei Rodrigues de Sousa, Maurivan Ribeiro Coelho, José Carlos Pereira Barbosa e Luciano Santos Adjuto e ao engenheiro florestal Pedro Santos.

Referências

- ALVARENGA, R. C.; GONCALVES, D. de A.; PEREZ, N. B.; WRUCK, F. J.; MARTINS, C. E.; CRUZ, J. C.; PEREIRA, L. G. R.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Potencial de utilização da ILPF nos biomas brasileiros. In: BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. de O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. p. 41-64.
- ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Avaliação das condições de pastagens no Cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável** (RBAS), v. 7, n. 1, p. 34-41, 2017.
- ASSAD, E. D.; MARTINS, S. C.; CORDEIRO, L. A. M.; EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, p. 153-167, 2019.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco Referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC** (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono). Brasília, DF, 2012. 172 p.
- CASTILHOS, Z. M. S.; BARRO, R. S.; SAVIAN, J. F.; AMARAL, H. R. B. Produção arbórea e animal em sistema silvipastoril com acácia-negra (*Acacia mearnsii*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, 2009.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de levantamento e Conservação de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212 p. ANTES ENTRAVA POR EMPRESA
- INTERGOVERNMENTAL panel on climate change. **Good Practice Guidance for Land-Use, Land-Use Change and Forestry**. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan, 2003. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf. Acesso em: 13 ago. 2020.
- INDÚSTRIA Brasileira de Árvores. Relatório 2019. Disponível; <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorioanual2019.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2020.
- FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria: UFSM, 1992. 269 p.
- GLENK, K.; SHRESTHA, S.; TOPP, C. F. E.; SANCHEZ, B.; IGLESIAS, A. DIBARI, C.; MERANTE, P. A farm level approach to explore farm gross margin effects of soil organic carbon management. **Agricultural Systems**, v. 151, p. 33-46, 2017.
- GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V.; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. C.; SIMÃO, E. P.; ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Mitigação de gases de efeito estufa em sistema de Integração Pecuária-Floresta e potencial de produção de Carne Carbono Neutro**: Fazenda Lagoa dos Currais, Curvelo, MG. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 230).
- KLUTHCOUSKI, J.; CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; SALTON, J. C.; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; BALBINO, L. C.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MÜLLER, M. Conceitos e modalidades da estratégia de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 21-33. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A.; STROUP, W. W.; RUSSELL, D. W.; SCHABENBERGER, O. **SAS for mixed models**. Cary: Statistical Analysis System Institute, 2006. 814 p.

MACEDO, M. C. M. CLFIS: An overview of the brazilian experience. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEM, 1.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. **Proceedings...** Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 33.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Recuperação de Áreas Degradadas**, 2015. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/florestas/comissao-nacional-de-florestas/hist%C3%B3rico/item/8705-recupera%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1reas-degradadas.html>. Acesso em: 20 ago. 2020. Antes entrava por ministério.

MULLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; ALVES, F. F. Estimativa de Acúmulo de Biomassa e Carbono em Sistema Agrossilvipastoril na Zona da Mata Mineira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, 2009.

OLIVEIRA, J. M. **Carbono no solo em sistemas integrados de produção agropecuária no cerrado e na transição Cerrado: Amazônia**. 2015. 90 f. Tese (Doutorado em Agronomia)- Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO. 2015.

OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; MEO FILHO, P. de; BERNDT, A.; PEDROSO, A. de F.; BERNARDI, A. C. de C. Balanço e emissões de gases de efeito estufa em sistemas integrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA; ENCONTRO DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NO SUL DO BRASIL, 4., 2017, Pato Branco. **Intensificação com sustentabilidade**: anais. Cascavel: UTFPR, 2017. p. 23-32.

PAIXÃO, F. A. **Quantificação do Estoque de Carbono em Floresta Plantada de Eucalipto e Avaliação Econômica de Diferentes Alternativas de Manejo**. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; BEHLING, M.; PULROLNIK, K.; VILELA, L.; MÜLLER, M. D.; OLIVEIRA, T. K.; RIBASKI, J.; RADOMSKI, M. I.; TONINI, H.; PACHECO, A. R. Implantação e Manejo do Componente Florestal em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. In: CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (Ed.). **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 81-101. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas).

PULROLNIK, K.; VILELA, I.; MARCHÃO, R. L.; LEMOS, R. L.; SOUZA, K.W. Soil carbon stocks in integrated crop-livestock-forest and integrated crop-livestock systems in the Cerrado region. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS, 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2015. v. 1

PULROLNIK, K.; MARCHAO, R. L.; VILELA, L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; SOUZA, K. W. de; MORAES NETO, S. P. de. **Recomendações para inserção do componente arbóreo em sistemas integrados lavoura-pecuária-floresta**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2019. 12 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 182).

SACRAMENTO, J. A. A. S. do; ARAÚJO, A. C. de M.; ESCOBAR, M. E. O.; XAVIER, F. A. da S.; CAVALCANTE, A. C. R.; OLIVEIRA, T. S. de. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 784-795, 2013.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 153-156, jan. 2008. Notas científicas.

SANTOS, J. A.; LIMA, V. O. B.; OLIVEIRA, J. C.; MATOS, P. S.; TRAZZI, P. A. **Avaliação do crescimento de clones de eucalipto no norte de Minas Gerais**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, v. 14, n. 2, 2017. (Enciclopédia Biosfera).

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P.; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, 2004.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n. 3, p. 443-451, 2009.

TSUKAMOTO FILHO, A. A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. 2003. 98 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHÃO, R. L.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, 2011.

VILLA NOVA, N. A.; MOREIRA, P. R.; PEREIRA, A. B. Eficiência de captura de energia solar por dosséis de eucalyptus pellita F. Muell sob várias densidades de plantio. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 269-274, 2003.

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

Embrapa

Cerrados

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 016779