

Biomassa e nutrientes na serapilheira acumulada em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em diferentes idades

¹ Karine Meira de Abreu, ² Jorge Luís Sousa Ferreira, ³ Weuler Alves Vasconcelos, ² Francine Neves Calil, ⁴ Carlos de Melo e Silva Neto

¹ Farming Solutions / Basf, via Somar, Jataí, Goiás, Brasil. E-mail: karinemeiradeabreu@gmail.com

² Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Avenida Esperança s/n, *Campus* Samambaia, CEP 74.690-900 Goiânia, GO, Brasil. E-mails: jorgeluisferreira89@hotmail.com, fncalil@gmail.com

³ Mitre Agropecuária. Britânia, Avenida Jose Camelo Pinto, 462, bairro Centro, CEP 76280-000, Britânia. GO, Brasil. E-mail: weulervasconcelos@hotmail.com

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rua 02, Quadra 10, Lotes 1 à 15, Residencial Bauman, CEP 76600-000, Cidade de Goiás, GO, Brasil. E-mail: carloskoa@gmail.com

Resumo: O sistema de integração lavoura pecuária e floresta (ILPF), caracteriza-se por um modelo racional de uso e manejo dos recursos naturais que estudam todo o ciclo do componente serapilheira e como a mesma contribui na manutenção da fertilização do solo. Entretanto, a dinâmica da serapilheira ao longo do desenvolvimento do ILPF ainda é pouco conhecida. Assim, este estudo teve por objetivo quantificar a biomassa de serapilheira acumulada, bem como o estoque de nutrientes, em ILPF em três diferentes idades. A coleta do material da serapilheira acumulada foi conduzida no mês de chuva e de seca, sendo que as áreas de coleta possuem como componente florestal o híbrido *Eucalyptus urograndis* com dois, quatro e seis anos de idade. A coleta foi realizada com gabarito quadrangular (0,0625 m²). O sistema de ILPF apresentou o maior acúmulo de serapilheira aos quatro anos de idade. A fração folha apresentou a maior proporção da biomassa. Os compartimentos da serapilheira apresentam em média a mesma quantidade de macronutrientes. Já o maior elemento encontrado foi o Ca, seguindo pelo N. Em relação aos micronutrientes, o maior teor foi encontrado para o elemento Fe, seguido do Mn.

Palavras chaves: Eucalipto, Consórcio, Cerrado.

Biomass and nutrients in litter accumulated in crop-livestock-forest integration systems at different ages

Abstract: The crop-livestock and forest integration system (CLFi) are characterized by a rational model of use and management of natural resources that study the entire litter component cycle, and how it contributes to maintaining soil fertilization. However, the litter dynamics throughout the development of the CLFi is still poorly understood. Thus, this study aims to quantify the accumulated litter biomass, as well as the nutrient stock, in the CLFi in three different ages. The accumulated litter collection was carried out in the month of rain and drought, the collection areas have as a forest component the hybrid *Eucalyptus urograndis* with two, four and six years of age. The collection was carried out using a square template (0.0625 m²). The CLFi showed the greatest accumulation of litter at the age of four. The leaf fraction showed the highest proportion of biomass. The litter compartments on average have the same amount of macronutrients. The largest element found was Ca, followed by N. Regarding micronutrients, the highest content was found for the element Fe, followed by Mn.

Keywords: Eucalyptus, Consortium, Cerrado.

Introdução

Nos últimos anos, têm-se ampliado as pesquisas voltadas para sistemas de produção que integrem a atividade agrícola, pecuária e florestal, de forma a buscar a intensificação do sistema de produção e garantindo a sustentabilidade na produção. A manutenção da capacidade produtiva dos povoamentos de eucalipto está relacionada ao processo da ciclagem dos nutrientes, onde a serapilheira acumulada sobre o solo representa importante fonte de nutrientes. Informações acerca desta dinâmica fornecem subsídios ao planejamento de ações voltadas às práticas silviculturais, principalmente manejo de adubação (Santos et al., 2014).

O sistema agrosilvipastoril é caracterizado pela integração de espécies agrícolas, florestais e animais que retrata uma forma de uso mais sustentável da terra, em razão principalmente da diversificação da exploração agrícola e florestal existente. Esse sistema se caracteriza como sustentável por existir ganhos sinérgicos entre as espécies agrícolas e florestais, buscando a otimização das interações biológicas entre elas. Para isso, é importante conhecer as características de cada espécie utilizada, sua posição no sistema e como ela se relacionam com as outras espécies e fatores edafoclimáticos locais (Ferreira et al., 2021).

Nos sistemas integrados, as espécies arbóreas, trazem vantagens principalmente na recuperação de pastagens degradadas, promovendo maior retenção de água na subsuperfície do solo e melhorando as condições locais dos cultivos. As árvores também influenciam na disponibilidade de nutrientes na zona de absorção radicular, no qual interceptam os nutrientes localizados em camadas do solo pouco acessíveis às raízes das forrageiras e os disponibiliza na superfície em forma de serapilheira (Godinho et al., 2014).

A serapilheira compreende a camada mais superficial do solo em ambientes florestais, sendo formada por folhas, ramos, órgãos reprodutivos e detritos, que exercem inúmeras funções no equilíbrio e dinâmica desses ecossistemas (Brun et al., 2013). A produção e decomposição da serapilheira são processos fundamentais na ciclagem de nutrientes, e mais comumente mensurados, do fluxo de matéria orgânica e nutrientes da vegetação para a superfície do solo, sendo vitais para o funcionamento do

ecossistema, principalmente, nas florestas tropicais situadas em solos com baixa fertilidade natural (Martins et al., 2020, 2021). O sistema de integração lavoura pecuária e floresta (ILPF) é caracterizado como um consórcio ou sucessão de produtos agrícolas, pecuários e florestais. Essa diversificação garante um sistema de produção mais sustentável, com otimização dos recursos e intensificação do uso da terra, podendo também promover a reabilitação de pastagens degradadas (Nicoli et al., 2017).

Estima-se que atualmente no Brasil dos 60 milhões de hectares de pastagens, a metade caracteriza-se como degradada. Com a necessidade crescente de aumento da produção de alimentos contrapondo à preservação das áreas nativas, o sistema ILPF vem como uma alternativa promissora para a recuperação das áreas degradadas e, simultaneamente, para aumentar a produção de alimentos (Embrapa, 2014). Nos sistemas de ILPF ocorre a complementaridade e a sinergia entre os componentes bióticos, de forma que os meios de produção disponíveis possam ser utilizados de maneira mais eficiente (Alvarenga & Noce, 2005). Uma das formas de sinergismo do ILPF está na decomposição da matéria orgânica (serapilheira), beneficiando a ciclagem de nutrientes, tanto da cultura agrícola como da cultura florestal (Calil et al., 2016).

O sistema ILPF tem sido adotado em todo o Brasil, com maior representatividade nas regiões Centro-Oeste e Sul. Hoje, aproximadamente 1,6 a 2 milhões de hectares utilizam os diferentes formatos da estratégia ILPF e a estimativa é de que, para os próximos 20 anos, possa ser adotada em mais de 20 milhões de hectares (Embrapa, 2014 & Nicoli et al., 2017). O potencial de adoção de sistemas de ILPF em diferentes ecossistemas brasileiros está condicionado a diversos fatores, de acordo com Dias-Filho (2007), em que um exemplo desses fatores seria a disponibilidade de solos favoráveis para a agricultura. O sistema se fundamenta em substituição (ões) ecofisiológica (s) das espécies vegetais, buscando formar um sistema produtivo com estrutura, composição e funcionamento semelhantes à vegetação natural local, cuja dinâmica leva à regeneração das funções ambientais, complexificação do ambiente e ao aumento da biodiversidade (Abreu et al., 2016, Santos et al., 2020 & Ferreira et al., 2021).

A ciclagem de nutrientes via produção e decomposição da serapilheira, sendo este o mais

importante processo de transferência de nutrientes para o solo, possibilita o desenvolvimento de florestas em solos com baixa fertilidade natural (Schumacher et. al., 2013 & Zago et al., 2020). Considerando serapilheira como importante componente ecológico dos sistemas de produção, este estudo teve por objetivo quantificar a biomassa de serapilheira acumulada, bem como o estoque de nutrientes, em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em três diferentes idades.

Material e métodos

Caracterização da Área

O estudo foi desenvolvido na fazenda Boa Vereda, localizada no município de Cachoeira Dourada, GO, Brasil, (Figura 1) ao sul do Estado de Goiás, nos meses de fevereiro e setembro do ano de 2015 (latitude de 18° 29' 30" S, longitude 49° 28' 30" W, e altitude de 459 metros em relação ao nível do mar). De acordo com a classificação de Köppen e Geiger, o clima considerado é o Aw (clima tropical com estação seca de inverno). A precipitação média anual é de 1.200 a 1.500 milímetros, concentrando-se no período chuvoso de outubro a abril (Álvares et al, 2013).

Figura 1 - Localização do município de Cachoeira Dourada, região sul do estado de Goiás.



Fonte: Silva-Neto (2021).

Predominam nestes solos os Latossolos com horizonte "A", moderado e proeminentemente de textura muito argilosa. Em pequenas áreas ocorrem Argissolos, Nitossolos, Gleissolos Háplicos e Neossolos, que apresentam

pH variando de 4,3 a 6,2 (Embrapa, 2013). Verificam-se, na Tabela 1, os atributos físico-químicos do solo nas diferentes profundidades na área experimental localizada no município de Cachoeira Dourada-GO.

Tabela 1 - Análises físicas e químicas do solo, realizadas no ano de 2012, antes da implantação do sistema de integração lavoura, pecuária e floresta (ILPF) na Fazenda Boa Vereda, no município de Cachoeira Dourada, GO.

Amostra	Mat. Org. (%)	CTC	Sat. Bases (%)	pH (CaCl ₂)	Textura (%)				
					Argila	Silte	Areia		
0-20	1,9	4,89	36,61	4,8	42	11	47		
0-40	1,1	4,27	22,69	4,7	47	11	42		
Amostra	cmolc.dm ³				mg.dm ³				
	Ca+Mg	Ca	Mg	Al	H+Al	K	K	P(Mel.)	S
0-20	1,6	1,2	0,4	0,1	3,1	0,18	72	2,4	4,3
0-40	0,8	0,6	0,2	0,1	3,3	0,16	63	1,8	3,5

Fonte: Dados da Pesquisa

A área onde foram realizadas as coletas compreende três sistemas com diferentes idades (dois, quatro e seis anos), com espaçamento entre renques de 22 m no sistema de dois e quatro anos, e 14 m para o de seis anos, e o espaçamento entre as plantas de eucalipto é o mesmo para as três idades, 3 m x 2 m. Na área a espécie florestal cultivada é o híbrido *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*) consorciado com a espécie forrageira braquiária (*Urochloa brizantha* (Stapf) Webster). O manejo do solo com maquinário, adubação, manejo de pragas e escolha de espécies agrícolas foi realizada semelhante para as três áreas.

Amostragem

As coletas de serapilheira acumulada foram realizadas nos meses de fevereiro e setembro de 2015, sendo período de chuva e estiagem, respectivamente. Em cada sistema foram sorteados aleatoriamente 30 pontos de amostragem, com distância mínima de 5 m entre si, sendo 15 pontos entre plantas e 15 pontos entre as linhas, totalizando 90 pontos nos três sistemas, seguindo por base a metodologia utilizada por Lima et al. (2015).

A coleta da serapilheira acumulada foi realizada com o auxílio de um gabarito com dimensões de 0,25 m x 0,25 m (0,0625 m²). No campo, o mesmo foi colocado na superfície do terreno, e todo o material orgânico presente em seu interior foi coletado e armazenado em sacos de papel.

As amostras nos sacos com a serapilheira coletada foram conduzidas ao Laboratório de Ecologia de Plantas (ECOFLOR), do Setor de

Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Goiás e colocados em estufa de circulação e renovação de ar a 65 °C por 72 horas, até alcançar massa seca constante. Posteriormente, o material foi pesado para obtenção da massa seca da serapilheira, e realizada a separação nas frações: casca + miscelânea, galho e folha.

Biomassa da serapilheira

A estimativa por unidade de área (hectare) foi realizada por extrapolação da massa seca, com base na área da moldura (0,0625 m²) de cada um dos compartimentos e para a biomassa total (Carvalho et al., 2019), de acordo com a Equação 1: Biomassa (kg ha⁻¹) = Peso(g)/(0,0625m²) *10.

Para a comparação da biomassa de serapilheira de cada compartimento e de cada idade de eucalipto do sistema ILPF foi realizado teste de análise de variância (ANOVA) com o auxílio do software SISVAR® (Ferreira, 2014) a 5% de probabilidade.

Teor e estoque nutricional

Seguindo a metodologia Viera et al. (2013), os materiais foram separados em compartimentos, moídos em moinho tipo Willey, peneirados a 30 mesh e analisados quanto aos teores de macros e micronutrientes. O nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl; o fósforo e o boro, por espectrofotometria; o potássio, por fotometria de chama; o enxofre, por turbidimetria; e cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, por espectrometria de absorção atômica, seguindo a metodologia descrita por Miyazawa et al. (1999).

O cálculo da quantidade de nutrientes na serapilheira foi efetuado por meio do produto do

teor médio de nutrientes pela biomassa seca, de acordo com a metodologia proposta por Calil et al. (2013). Para comparação do estoque nutricional da serapilheira nos diferentes compartimentos dos ILPF de diferentes idades foi utilizada a análise de componentes principais (PCA) com matriz de co-variância, observando a porcentagem da variância de cada nutriente (Carvalho et al., 2019), uma vez que as amostras não apresentam repetição para comparação por médias entre as diferentes idades e compartimentos.

Resultados e discussão

Biomassa de serapilheira acumulada

Considerando as diferentes idades dos povoamentos, a maior quantidade de serapilheira total acumulada foi de 10,96 Mg ha⁻¹, que correspondeu ao plantio de 4 anos e a menor quantidade encontrada foi na área de 2 anos, com cerca de 5,81 Mg ha⁻¹ (Tabela 2).

A biomassa acumulada nos três sítios do sistema ILPF com diferentes idades da arbórea

Eucalyptus urograndis, apresentou no sítio de 4 anos de idade a maior média total de serapilheira acumulada com 10,964 Mg ha⁻¹. Em um estudo conduzido por Lima et al. (2015), sobre biomassa acumulada com o mesmo clone *E. urograndis*, aos 5 anos de idade, obtiveram um total de 9,51 Mg ha⁻¹. Santos et al. (2014) encontraram valores totais de serapilheira acumulada de 12,7 e 12,0 Mg ha⁻¹ para plantio clonais de *Eucalyptus saligna* aos 4 e 5 anos, respectivamente, em São Gabriel, RS. Viera et al. (2014), estudando a dinâmica nutricional em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*, observaram que a produção de serapilheira foi crescente com o aumento da idade do povoamento, sendo 6,9 Mg ha⁻¹ aos seis anos e 8,5 Mg ha⁻¹ aos nove anos. Já Barbosa et al. (2017) observaram que a maior quantidade de serapilheira acumulada foi observada em um plantio de eucalipto aos 5 anos de idade, totalizando 13,1 Mg ha⁻¹. Todos os resultados encontrados acima de diferentes autores, regiões e clones de eucalipto demonstram que a quantidade de serapilheira em média oscila entre 9 e 13 Mg ha⁻¹.

Tabela 2 - Valores médios da biomassa de serapilheira acumulada em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em três diferentes idades, na Fazenda Boa Vereda, no município de Cachoeira Dourada, GO.

Compartimento	Idade do Povoamento		
	2 anos	4 anos	6 anos
		kg ha ⁻¹	
Folhas	3.922,13 (67, 44%)a	5.574,40 (50,83 %)b	2.749,86 (39,31 %)c
Galhos	1.268,26 (21,82 %)a	4.168,80 (38,02 %)b	3.095,46 (44,25 %)b
Miscelânea + Casca	624,53 (10,74 %)a	1.221,55 (11,15 %)b	1.149,92 (16,44%)c
Total em Kg ha⁻¹ (%)	5.814,92 (100%)	10.964,75 (100 %)	6.995,24 (100 %)

Fonte: Dados da Pesquisa

*letras diferentes indicam diferença estatística em 95%.

O acúmulo de serapilheira sobre o solo tende a variar de acordo com o crescimento das árvores do sítio. Porém, tal aspecto pode ser variável de espécie arbórea para espécie arbórea, de híbrido para híbrido ou de clone para clone, como também de acordo com as condições de

solo e clima do local de plantio, assim como o regime hídrico, sub-bosque, manejo silvicultural, proporção de copa, bem como taxa de decomposição da serapilheira, e distúrbios naturais como fogo e ataque de insetos ou artificiais como remoção da serapilheira e cultivos

(Brun et al., 2013). Os solos nas áreas dos plantios apresentam aspectos de fertilidade típicos de solos de Cerrado (Tabela 1), como alta acidez, baixas concentrações de bases, baixa matéria orgânica, porém para a implantação do eucalipto foram realizados manejos de correção da acidez e fertilidade para suprir a carência nutricional das árvores, apresentando assim, condições para o desenvolvimento da cultura do eucalipto. De qualquer forma, o solo na região apresentou-se homogêneo entre as diferentes áreas, além de que os efeitos em relação aos plantios em cada idade não foram testados neste trabalho.

Em diversos trabalhos como Carvalho et al. (2019) e Martins et al. (2020, 2021) sobre deposição e acúmulo de serapilheira, em plantios florestais homogêneos ou em florestas nativas, reconheceram um padrão semelhante na variação da produção da serapilheira acumulada com relação a idade das arbóreas. Inicialmente a produção de serapilheira cresce com a idade das árvores até atingir um limite. Depois de atingido certo limite, a produção de serapilheira estabiliza-se ou cai lentamente para espécies de vida longa ou rapidamente para espécies de vida curta. Assim como também ocorre uma maior deposição de serapilheira em períodos de estiagem para a maioria das florestas (Corrêa et al., 2013).

A fração folha obteve a maior produção em ambos os períodos de coleta do estudo (Tabela 2), como verificado por outros estudos, em diferentes plantios de eucalipto, como no estudo realizado por Cunha et al. (2005) onde a serapilheira foi composta em média por 69% de folhas em três plantios de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden com um, cinco e oito anos de idade. Se assemelhando também com o trabalho de Barbosa et al. (2017) em que a fração folha também foi o principal material formador da serapilheira no povoamento de eucalipto (65%) com cinco anos de idade na região Sudoeste da Bahia.

E no estudo de Corrêa et al. (2013), essa contribuição da folha foi ainda mais proeminente, contribuindo com 93% da serapilheira em um

povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden com dois anos de idade. Assim como também visto em estudos realizados em florestas nativas, demonstrando que a fração folha na quantificação de serapilheira contribui com até 70%, ou mais (Costa et al., 2010), verificando assim a importância dessa fração na devolução de nutrientes (ciclagem) ao solo florestal. O maior acúmulo da fração folha pode estar associado às características fisiológicas da espécie vegetal e ao déficit hídrico, uma vez que a queda das folhas reduziria a perda de água por transpiração, principalmente no período de estiagem, período esse bastante marcante na região em que apresenta temperaturas elevadas no inverno.

As maiores produções de serapilheira ocorrem no período de seca, entre os meses de agosto e novembro, o que pode ser uma resposta da vegetação ao estresse hídrico, em que as espécies liberam suas folhas para que reduzam a perda de água por transpiração, segundo Silva et al. (2018). Apesar da comparação sazonal da biomassa não ser o foco deste estudo, a coleta desta biomassa nas duas estações seca e chuvosa, é importante para a composição real da quantidade de serapilheira que é depositada no ILPF. A elevada deposição de folhas no período de seca no Cerrado ocorre nos meses de mais baixa precipitação, fato que pode ser influenciado por fatores ambientais variáveis como o aumento da temperatura e a baixa umidade do ar, levando às espécies a adaptação ao estresse hídrico (Silva et al., 2007).

Teor e estoque de nutrientes

Considerando os compartimentos da serapilheira analisados, exceto a fração miscelânea (aos dois anos), o comportamento do teor de macronutrientes foi o mesmo em relação ao gradiente de concentração, sendo o maior teor encontrado para o Ca, seguindo pelo N. Em relação aos micronutrientes, em todos os compartimentos e em todos os anos avaliados, o maior teor foi encontrado para o elemento Fe, seguido do Mn (Tabela 3).

Tabela 3 - Teor médio de nutrientes (macro e micro) nas diferentes frações formadoras da serapilheira acumulada em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em três diferentes idades na Fazenda Boa Vereda, no município de Cachoeira Dourada, GO.

Compartimento	Macronutrientes (g kg ⁻¹)							Micronutrientes (mg kg ⁻¹)				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Folhas ^(a)	9,42	0,32	1,51	11,50	2,57	0,49	59,02	46,77	1.900,92	672,46	33,41	
Galhos ^(a)	3,72	0,44	2,06	15,50	1,94	0,29	23,27	20,69	1.633,57	363,23	17,96	
Miscelânea ^(a)	9,93	0,14	1,10	6,75	1,80	0,51	33,28	105,93	2.065,17	701,65	3,00	
Folhas ^(b)	10,76	0,56	1,51	13,52	1,88	0,50	44,46	27,31	1.826,67	706,01	28,69	
Galhos ^(b)	3,34	0,56	1,65	17,73	2,57	0,28	17,42	19,73	1.484,56	411,83	29,92	
Miscelânea ^(b)	4,61	0,25	1,28	8,05	2,14	0,41	21,93	17,93	1.622,65	456,07	17,16	
Folhas ^(c)	9,52	0,57	1,38	11,34	2,23	0,46	29,25	21,02	1.886,25	352,19	31,19	
Galhos ^(c)	3,46	0,37	1,38	14,85	2,70	0,30	18,07	11,34	1.561,30	252,52	12,91	
Miscelânea ^(c)	7,40	0,48	1,28	9,62	2,09	0,39	27,47	21,24	1.857,61	304,03	19,04	

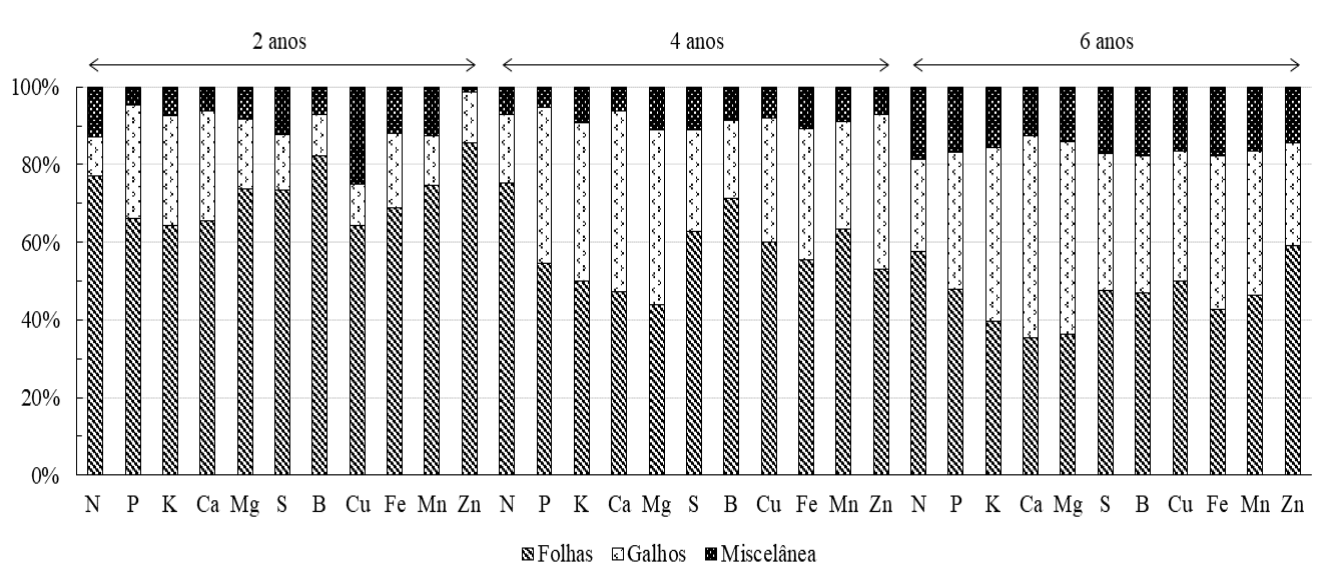
Em que: "a" representa a serapilheira acumulada coletada em plantio aos 2 anos, "b" representa a serapilheira acumulada coletada em plantio aos 4 anos; "c" representa a serapilheira acumulada coletada em plantio aos 6 anos.

Fonte: Dados da Pesquisa

Na Figura 2, abaixo, é possível verificar a compartimentalização do estoque de nutrientes na serapilheira acumulada, considerando as diferentes idades do povoamento e a distribuição percentual dos nutrientes em cada compartimento

formador da biomassa. Na Tabela 4, abaixo, é possível verificar o estoque de nutrientes nos diferentes compartimentos da serapilheira acumulada nos diferentes povoamentos (idades).

Figura 2 -. Porcentagem relativa do estoque nutricional na serapilheira acumulada, considerando os compartimentos formadores de serapilheira acumulada em diferentes idades.



Fonte: Dados da Pesquisa

Tabela 4 - Estoque nutricional por compartimento formador de serapilheira acumulada em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) em três diferentes idades na Fazenda Boa Vereda, no município de Cachoeira Dourada, GO.

Compartimento	Macronutrientes (kg ha ⁻¹)					Micronutrientes (kg ha ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folhas ^(a)	36,94	1,27	5,93	45,08	10,06	1,91	0,23	0,18	7,46	2,64	0,13
Galhos ^(a)	4,72	0,56	2,62	19,66	2,45	0,37	0,03	0,03	2,07	0,46	0,02
Miscelânea ^(a)	6,20	0,09	0,69	4,22	1,12	0,32	0,02	0,07	1,29	0,44	0,002
Total ^(a)	47,86	1,92	9,24	68,96	13,63	2,60	0,28	0,28	10,82	3,54	0,152
Folhas ^(b)	59,98	3,15	8,43	75,36	10,45	2,81	0,25	0,15	10,18	3,94	0,16
Galhos ^(b)	13,94	2,32	6,88	73,92	10,71	1,17	0,07	0,08	6,19	1,72	0,12
Miscelânea ^(b)	5,63	0,31	1,57	9,83	2,61	0,50	0,03	0,02	1,98	0,56	0,02
Total ^(b)	79,55	5,78	16,88	159,1	23,77	4,48	0,35	0,25	18,35	6,22	0,30
Folhas ^(c)	26,17	1,57	3,78	31,19	6,12	1,25	0,08	0,06	5,19	0,97	0,09
Galhos ^(c)	10,71	1,15	4,26	45,97	8,34	0,93	0,06	0,04	4,83	0,78	0,04
Miscelânea ^(c)	8,51	0,55	1,48	11,06	2,40	0,45	0,03	0,02	2,14	0,35	0,02
Total ^(c)	45,39	3,27	9,52	88,22	16,86	2,63	0,17	0,12	12,16	2,10	0,15

Em que: “a” representa a serapilheira acumulada coletada em plantio aos 2 anos, “b” representa a serapilheira acumulada coletada em plantio aos 4 anos; “c” representa a serapilheira acumulada coletada em plantio aos 6 anos.
Fonte: Dados da Pesquisa

Na Tabela 5, observa-se a magnitude dos macros e micronutrientes encontrados nos compartimentos da serapilheira em diferentes idades, no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Na análise dos

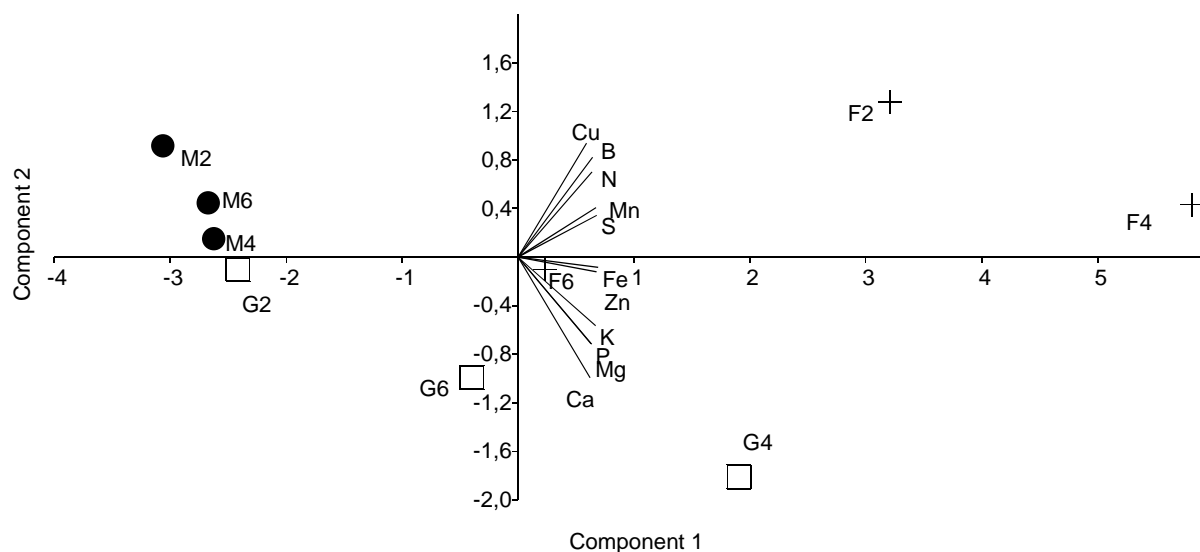
componentes principais (PCA) (Figura 3) dos teores de serapilheira fica destacado que a composição dos compartimentos de serapilheira é mais forte do que a própria idade de cada ILPF.

Tabela 5 - Magnitude de acúmulo dos macros e micronutrientes nos compartimentos da serapilheira em diferentes idades, no sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) na Fazenda Boa Vereda, no município de Cachoeira Dourada, GO.

Macronutrientes	
Folhas (2 anos)	Ca > N > Mg > K > S > P
Folhas (4 anos)	Ca > N > Mg > K > P > S
Folhas (6 anos)	Ca > N > Mg > K > P > S
Galhos (2 anos)	Ca > N > K > Mg > P > S
Galhos (4 anos)	Ca > N > Mg > K > P > S
Galhos (6 anos)	Ca > N > Mg > K > P > S
Miscelânea (2 anos)	N > Ca > Mg > K > S > P
Miscelânea (4 anos)	Ca > N > Mg > K > S > P
Miscelânea (6 anos)	Ca > N > Mg > K > P > S
Micronutrientes	
Folhas (2anos)	Fe > Mn > B > Cu > Zn
Folhas (4 anos)	Fe > Mn > B > Zn > Cu
Folhas (6 anos)	Fe > Mn > Zn > B > Cu
Galhos (2 anos)	Fe > Mn > B = Cu > Zn
Galhos (4 anos)	Fe > Mn > Cu > Zn > B
Galhos (6 anos)	Fe > Mn > B > Cu = Zn
Miscelânea (2 anos)	Fe > Mn > Cu > B > Zn
Miscelânea (4 anos)	Fe > Mn > B > Cu = Zn
Miscelânea (6 anos)	Fe > Mn > B > Cu = Zn

Fonte: Dados da Pesquisa

Figura 3 - Análises dos componentes principais do estoque nutricional de serapilheira em ILPF de diferentes idades (Símbolos: Soma – compartimento de folha; Quadrado – compartimento de galho; Bola – compartimento de miscelânea; os números na frente são a idade do ILPF). Componente1 - 87,7% e componente 2 – 7,95%.



Fonte: Dados da Pesquisa.

O compartimento de folha relacionou-se aos componentes de Cu, B, N, Mn, S, Fe e Zn. Para o compartimento de galhos, os teores de Ca, Mg, P e K foram relacionados entre si. Quanto maior um desses elementos, maior os outros também, de forma diretamente proporcional. Para ambos os compartimentos, galhos e folhas, apresentam os maiores teores dos elementos descrito acima. Já miscelânea agrupou de forma isolada, sendo o compartimento com menores teores nutricionais. A relação entre os componentes nutricionais também se mostrou relevante, sendo que Cu, B, N, Mn e S formam um grupo e Ca, Mg, P, K, Fe e Zn outro grupo, ambos os grupos são diretamente relacionados entre eles.

A fração galho foi a segunda fração em maior quantidade acumulada à serapilheira nas idades de dois e quatro anos, e a maior fração no sistema de seis anos (Tabela 02). Os maiores valores verificados para a deposição da fração galhos no povoamento de eucalipto podem ser explicados pelo fato de que em idades entre três e cinco anos existe tendência de maior desrama natural em algumas espécies desse gênero (Tonini et al., 2016). No entanto, a espécie do sistema ILPF avaliado, *Eucalyptus urograndis* possui pouca desrama natural, o que ocorreu foi a

realização da desrama artificial antes das coletas (Tonini et al., 2016), verificando assim alta porcentagem desta no sistema de seis anos. Santos et al. (2015) analisando a serapilheira de plantio de *Eucalyptus urophylla* com 6 anos de idade, destacam que a fração galhos teve um total de produção de $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, resultado esse inferior ao do presente estudo. Provavelmente essa diferença ocorreu devido às variações climáticas entre as áreas de estudo, já que os autores desenvolveram suas pesquisas na região Sudoeste da Bahia. Santos et al. (2017) encontraram, em estudo com 15 clones de eucalipto aos 37 meses, na Chapada dos Guimarães (MT), o valor médio de $1,77 \text{ Mg ha}^{-1}$ da fração miscelânea, sendo este valor superior aos encontrados neste estudo, que no presente momento estavam com 24, 48 e 72 meses.

Holanda et al. (2017) em estudo sobre a deposição de serapilheira e o aporte de nutrientes em área de Caatinga, verificaram que as concentrações de nutrientes na serapilheira acompanhou a seguinte ordem crescente: $\text{Ca} > \text{N} > \text{K} > \text{Mg} > \text{P}$, sendo a mesma magnitude encontrada no presente estudo, com exceção da miscelânea aos 2 anos de idade. Os autores supracitados afirmam que o maior retorno do elemento cálcio ao solo via serapilheira foi devido

ao Ca ser um elemento estruturante e apresentar-se com baixíssima mobilidade, e que por estruturas das plantas ao senescerem no solo, esse elemento seria liberado ao sistema, depositado sobre a superfície do solo e em seguida absorvido pelas plantas, retornando ao ciclo bioquímico.

Considerando a importância do aporte de nitrogênio para as produções agrícolas e florestais, o segundo maior teor (quantidade do elemento na folha) foi de nitrogênio (N) em todos os componentes da serapilheira analisada, em ambos os períodos de coletas. Provavelmente estejam relacionados ao maior estoque da serapilheira, e conseqüentemente devido a diversidade vegetal desse tipo sistema, em que o consórcio de espécies agrícolas (entre estas, leguminosas) e espécies florestais, favoreceu o aumento do teor de N por meio da fixação biológica, em relação aos demais sistemas. Outros autores trabalhando com vegetação nativa plantada no bioma Cerrado destacam que modelos produtivos com árvores que produzem mais folha geram serapilheira com maior percentual de nitrogênio como é o caso do baruzeiro (*Dipteryx alata*) em relação a cagaiteira (*Eugenia desynerica*) (Calil et al., 2016).

Já em sistemas silvipastoris mono-específicos, apenas com *Eucalyptus* spp. entre as arbóreas, podem gerar problemas na imobilização de N no solo, tendo em vista baixa qualidade na relação C/N dessa serapilheira (Andrade et al., 2003). Além de que a serapilheira de eucalipto apresenta lenta decomposição, com meia vida de 1,5 anos, acumulando 16,6 t ha⁻¹ de serapilheira e conseqüentemente lenta disponibilização para as plantas (Momoli et al., 2018). Além dos teores de nitrogênio, neste trabalho indica-se forte relação entre os nutrientes Cu, B, N, Mn, S, Fe e Zn formando um grupo e o outro grupo com os elementos Ca, Mg, P e K, como demonstrado na Figura 3. Esses resultados são similares aos encontrados por Carvalho et al. (2019) em serapilheiras de diferentes usos do solo, inclusive plantações de eucalipto e vegetação nativa do Cerrado. Os autores destacam que os padrões nutricionais da serapilheira oscilam pouco entre os diferentes usos da terra, permanecendo rico em nutrientes que poderão ser disponibilizados para o solo.

Os mesmos valores foram verificados por Santos et al. (2014) obtendo altos valores nas

concentrações de Ca e N na serapilheira acumulada correspondendo a mais de 79% do total de macronutrientes, sendo que, esses nutrientes apresentaram as maiores quantidades nos diferentes materiais depositados sobre o solo independente da estação e ano, em um estudo realizado com *Eucalyptus saligna* Smith em São Gabriel, RS. Assim também observado no trabalho de Viera et al. (2010) com o clone de *E. urophylla* x *E. globulus*, com Ca e N correspondendo a mais de 82% do total de macronutrientes na serapilheira sobre o solo. A magnitude total da quantidade de macronutrientes na serapilheira foi de Ca > N > Mg > K > S > P, tanto no estudo dos autores quanto neste estudo.

Em geral, os valores de fósforo (P) obtidos foram inferiores aos outros nutrientes (Tabela 3). Os baixos valores de P na fração galhos deve-se a ele ser um elemento constituinte de compostos complexos, ricos em energia e facilmente translocado dos tecidos mais velhos para os mais novos da planta, apresentando as maiores concentrações em folhas novas. O P é um nutriente que apresenta uma elevada redistribuição interna, devido a isso é encontrado em grande parte nas folhas em plena atividade metabólica (Lima et al., 2015). O potássio (K) foi também um dos nutrientes com menores valores, possivelmente por ser um elemento altamente solúvel e, por isso, facilmente lixiviável tanto de órgãos vegetativos vivos quanto mortos (Santos et al., 2014).

O aspecto nutricional do estoque de serapilheira reflete o aspecto potencial da fertilidade para ser disponibilizada no solo. As relações entre estoque nutricional de serapilheira e disponibilização dos nutrientes para o solo são realizadas a partir da decomposição da matéria orgânica (Krishna & Mohan, 2017). Contudo, mesmo sem avaliar a decomposição da serapilheira (e matéria orgânica), observa-se o potencial retorno dos nutrientes pela serapilheira acumulada. Assim, destaca-se que na biomassa acumulada da serapilheira obteve a maior contribuição na fração de folhas, atribuída ao fato de que essa fração é a principal componente da serapilheira, tanto em quantidade (conteúdo de nutrientes devolvidos) quanto em concentração. Já para os micronutrientes, os elementos Fe e Mn foram os encontrados em maiores proporções em todos os tratamentos. Já B, Cu e Zn foram encontrados em diferentes proporções. A

quantidade de Fe e Mg presente na serapilheira acumulada, segundo Viera et al. (2010) pode ser decorrente das altas concentrações desses elementos no solo, o qual permanece na serapilheira, em especial devido ao avanço do processo de decomposição da biomassa.

As diferenças encontradas na miscelânea aos dois anos de idade em relação ao Ca e N provavelmente se dá pela falta de material lenhoso nesta fração. Segundo Faria et al. (2002), cerca de 70% do Ca está presente na parede celular e o Ca é o elemento que apresenta maior quantidade no tronco do eucalipto, além de apresentar baixa mobilidade. Já Viera et al. (2014) em estudo para avaliar a deposição de serapilheira e nutrientes em plantio de *E. urophylla* X *E. globulus* encontraram estoque de macronutrientes nos seguintes valores: N (43,6 kg ha⁻¹), P (2,3 kg ha⁻¹), K (18,6 kg ha⁻¹), Ca (52,4 kg ha⁻¹) e Mg (14,0 kg ha⁻¹). Para os micronutrientes, o comportamento do estoque foi: B (0,19 kg ha⁻¹), Cu (0,03 kg ha⁻¹), Fe (0,6 kg ha⁻¹), Mn (3,2 kg ha⁻¹) e Zn (0,05 kg ha⁻¹). Os resultados encontrados pelos autores acima são similares aos encontrados neste estudo, especialmente N, P, Ca e micronutrientes, conforme demonstrado na Tabela 4.

Assim, diante dos benefícios expostos ao longo do trabalho, o sistema integrado lavoura pecuária floresta com eucalipto se mostram relevantes para o Bioma Cerrado, criando um modelo produtivo que produz alimento e ainda minimiza os impactos causados pela alteração do uso do solo. O sistema ILPF também fornece condições de fertilidade para o ambiente, diferente de sistemas de monocultivo nas culturas agrícolas ou pastagem. Os sistemas ILPF são sistemas de produção de alimento já difundidos no Cerrado, porém é um modelo ainda pouco estudado a longo prazo. Assim, futuros estudos de longo prazo, para ciclos de produção acima de 20 anos são recomendados para o ILPF.

Conclusões

O sistema integrado lavoura pecuária floresta em diferentes idades fornece quantidade de serapilheira para fertilizar o solo, evidenciando os sistemas acima de 4 anos de idade, que deposita serapilheira suficiente para suprir as necessidades do sistema em si, assim como

excedentes. Ao longo do desenvolvimento do plantio, a dinâmica de deposição de serapilheira muda de acordo com a idade das árvores, sendo em geral maior nos plantios entre 2 e 4 anos.

Referências

- Abreu, S. A. H., et al. (2016). Chemical attributes of the soil in agroforestry systems subjected to organic fertilizations. *African Journal of Agricultural Research*, 11 (27), 2378-2388.
- Andrade, A. G., Tavares, S. R. L., & Coutinho, H. L. C. (2003). Contribuição da serapilheira para recuperação de áreas degradadas e para manutenção da sustentabilidade de sistemas agroecológicos. *Informe Agropecuário*, 24 (220), 55-63.
- Alvares, C. A., et al. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728.
- Alvarenga, R. C., & Noce, M. A. (2005). *Integração lavoura-pecuária* (Documentos, n. 47, 14p). Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.
- Barbosa, V., et al. (2017). Biomassa, Carbono e Nitrogênio na Serapilheira Acumulada de Florestas Plantadas e Nativa. *Floresta e Ambiente*, 24 (e20150243), 1 – 9.
- Brun, E. J., et al. (2013). Relação entre o acúmulo de serapilheira sobre o solo e variáveis dendrométricas em povoamento híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus maidenii*, em Eldorado do Sul/RS. *Revista Ecologia e Nutrição Florestal*, Santa Maria, 1 (1), 24-31.
- Calil, F. N. et al. (2013). Biomassa e nutrientes em sistema agrossilvicultural no extremo sul do Brasil. *Revista Ecologia e Nutrição Florestal*, Santa Maria, 1 (2), 80-88.
- Calil, F. N., et al. (2016). Biomass and nutrition stock of grassland and accumulated litter in a silvopastoral system with Cerrado species. *African Journal of Agricultural Research*, 11 (38), 3701-3709.

- Carvalho, H. C. S., et al. (2019). Estoque de nutrientes na serapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, Brasil. *Revista Ecologia E Nutrição Florestal*, 7 (6), 1 - 11.
- Corrêa, R. S. et al. (2013). Deposição de serapilheira e macronutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden sobre pastagem natural degradada no Bioma Pampa. *Scientia Forestalis*, 41 (97), 065-074.
- Costa, C. C. A., et al. (2010). Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na Flona de Açú - RN. *Revista Árvore*, 34 (2), 259-265.
- Cunha, G. M., Gama-Rodrigues, A. C., & Costa, G. S. (2005). Ciclagem de nutrientes em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no norte fluminense. *Revista Árvore*, 29 (3), 353-363.
- Dias-Filho, M. B. (2007). *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação* (3.ed., 190p). Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos* (3 ed. rev. ampl., 353p). Brasília, DF: Embrapa.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2014). Capacitação Continuada de Técnicos em iLPF. Brasília, DF: Embrapa Agrossilvipastoril. Recuperado em 31 de outubro 2020, de <https://www.embrapa.br/agrossilvipastoril/capacitacao-continuada-ilpf>
- Faria, G. E., et al. (2002). Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. *Revista Árvore*, 26 (5), 577 - 584.
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia* [online], 38 (2), 109-112. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.
- Ferreira, J. L. S., Calil, F. N., & Silva Neto, C. M. (2021). Nutrient stock in the forest component in a crop-livestock-forest integration system in central Brazil. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, 12 (2).
- Godinho, T. O., et al. (2014). Quantificação de biomassa e de nutrientes na serapilheira acumulada em trecho de floresta estacional semidecidual submontana, ES. *Cerne*, 20 (1), 11 - 20.
- Holanda, A. C., et al. (2017). Aporte de serapilheira e nutrientes em uma área de Caatinga. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 27 (2), 621-633.
- Lima, N. L., et al. (2015). Acúmulo de serapilheira em quatro tipos de vegetação no estado de Goiás. *Enciclopédia Biosfera*, 11 (22), 39-46.
- Krishna, M. P., & Mohan, M. (2017). Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecology and Environment*, 2 , 236-249.
- Martins, T. O., et al. (2021). Accumulated litter and nutrient stock in biomass and in soil in forest formations in the Cerrado. *Scientia Forestalis*, 49 (129), 1-8.
- Martins, O. T., et al. (2020). Vegetational and edaphic attributes in forest formations in the Cerrado biome. *Floresta*, 50 (1), 961-970.
- Miyazawa, M., et al. (1999). Análises químicas de tecido vegetal. In: Silva, F. C. (Ed). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília: Embrapa Solos, 171-223.
- Momolli, D. R., et al. (2018). Decomposição da serapilheira foliar e liberação de nutrientes em *Eucalyptus dunnii* no Bioma Pampa Decomposition from Leaf Litter and Nutrients Release in *Eucalyptus dunnii* in the Pampa Biome. *Scientia Forestalis*, 46 (118), 199-208.
- Nicoli, C. M. L., et al. (2017). Income diversification through a crop-livestock-forest integration system in the Midwest Brazilian Region. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 7 (6), 374-385.

- Santos, A. F. A., et al. (2017). Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto. *Floresta e Ambiente*, 24 (e20150303), 1 – 9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.030315>.
- Santos, J. C., et al. (2014). Nutrientes na serapilheira acumulada em um povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith em São Gabriel, RS. *Ecologia e Nutrição Florestal*, 2 (1), 1-8.
- Santos, L. A. C., et al. (2020) Indicadores socioambientais em sistemas agroflorestais no Cerrado goiano. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, 12 (1), 54-65.
- Santos Neto, A. P., et al. (2015). Produção de serapilheira em floresta estacional semidecidual e em plantios de *Pterogyne nitens* Tul. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake no sudoeste da Bahia. *Ciência Florestal*, 25 (3), 633-643.
- Schumacher, M. V., et al. (2013). Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* Maidenii. *Cerne*, 19 (3), 501 - 508.
- Silva, C. J., et al. (2007). Produção de serrapilheira no Cerrado e na floresta de transição Amazônia-Cerrado do Centro Oeste brasileiro. *Acta Amazonica*, 37 (4), 543-548.
- Silva, H. R., Ferreira, J. L. S., & Calil, F. N. (2018). Serapilheira acumulada de eucalipto em sistema integrado de lavoura-pecuária-floresta. *Revista Agrotecnologia*, 9 (2), 74-82.
- Tonini, H., et al. (2016). Biomass and leaf area in eucalyptus clones in Crop-Livestock-Forestry Systems: implications for pruning. *Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais*, 4 (5), 271-276.
- Viera, M., et al. (2014). Deposição de Serapilheira e Nutrientes em Plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*. *Floresta e Ambiente*, 21 (3), 327 - 338.
- Viera, M., et al. (2010). Nutrientes na serapilheira em um fragmento de floresta estacional decidual, Itaara, RS. *Ciência florestal*, Santa Maria, 20 (4), 611-619.
- Viera, M., Schumacher, M. V., & Caldeira, M. V. W. (2013). Dinâmica de decomposição e nutrientes em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus* no sul do Brasil. *Floresta e Ambiente*, 20 (3), 351 - 360.
- Zago, L. M. S., et al (2020) Biochemical indicators drive soil quality in integrated crop–livestock–forestry systems. *Agroforest System*, 94, 2249–2260

Recebido em: 06/11/2020

Aceito em: 29/06/2021