



Eficiência de utilização de nutrientes pelo eucalipto em sistema agrossilvipastoril

Kamile Zompero ARAUJO¹, Charlotte WINK^{1*}, Anderson LANGE¹,
Igor Duarte Andrade MOREIRA¹, Rafaella De Angeli CURTO¹,

¹Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.
(ORCID: 0000-0002-4247-3450; *, 0000-0002-2518-1915; 0000-0002-6185-4267; 0000-0001-5509-4655)
*E-mail: charlotte.wink@gmail.com (ORCID: 0000-0001-7066-7028)

Recebido em 10/06/2019; Aceito em 23/09/2019; Publicado em 13/04/2020.

RESUMO: O objetivo do estudo foi avaliar o efeito das configurações de plantio do sistema agrossilvipastoril sobre a eficiência de utilização de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa do eucalipto. A EUN foi obtida pela razão entre o estoque da biomassa e dos nutrientes, avaliada pela média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) e pelo teste de Kruskal-Wallis com comparação entre arranjos pelo teste de Dunn (5% de probabilidade). A média de EUN dos macronutrientes variou de 49,40 a 3.257 kg kg⁻¹ (DP: 2,78 a 528,19 e CV: 2,08 a 33,44%) e de 30.376,00 a 192.125 kg kg⁻¹ para os micronutrientes (DP: 1,32 a 23.336,50 e CV: 0,004 a 28,41%). A magnitude decrescente da EUN da biomassa total foi P > S > K > Mg > N > Ca, na biomassa residual foi de S > P > Mg > K > Ca > N, nos galhos grossos foi de S > P > Mg > K > N > Ca, e na madeira e casca foi de P > S > K > Mg > N > Ca. Portanto, apesar de não se observar o padrão típico de aumento da EUN com o aumento da densidade de árvores nas faixas de cultivo do ILPF, o sistema agrossilvipastoril influenciou na variabilidade da EUN, sendo que variações desse padrão podem ocorrer, dependendo do compartimento da biomassa e do nutriente avaliado.

Palavras-chave: ILPF; EUN; biomassa.

Nutrient use efficiency of eucalyptus in crop-livestock-forest system

ABSTRACT: The aim of the study was to evaluate the effect of the agrossilvipastoral system planting configuration on the nutrient use efficiency (NUE) of the different compartments of eucalyptus biomass. The NUE was obtained by the ratio between biomass and nutrient stock, evaluated by the mean, standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) and by the Kruskal-Wallis test, at a 5% probability level with the evaluated weights by Dunn's test. The EUN mean of the macronutrients ranged from 49 to 3.250 (SD: 2,95 to 4.258,72 and CV: 2,08 a 26,20%) and from 30.370 to 192.124 for micronutrientes (SD: 1,32 to 63.432,41 and CV: 0,02 to 20,14%). The decreasing magnitude of the NUE for the total biomass was P > S > K > Mg > N > Ca, for the residual biomass was S > P > Mg > K > Ca > N, for thick branches was S > P > Mg > K > N > Ca, and for the wood and the bark, was P > S > K > Mg > N > Ca. Therefore, although the typical pattern of EUN increase with increasing tree density in the CLF cultivation bands is not observed the agrossilvipastoral system influenced the variability of the EUN, and variations of this pattern may occur, depending on the biomass compartment and the evaluated nutrient.

Keywords: CLF System; NUE; biomass.

1. INTRODUÇÃO

O aumento na demanda por alimento, água e madeira tem motivado a otimização do uso de áreas produtivas, em vista da produção múltipla e diversificada. Segundo a Embrapa (2016), isso pode ser alcançado pelo emprego de tecnologias que integram, na mesma área, em sucessão ou rotação, a lavoura, pecuária e a floresta, ou seja, o conhecido ILPF. O cultivo em ILPF está presente em 11,5 milhões de ha no Brasil, e destes, 1,5 milhões somente no Mato Grosso, sendo o eucalipto, a espécie mais cultivada, devido sua adaptação aos mais diferentes tipos de solos e condições climáticas.

Em virtude dessa amplitude adaptativa do eucalipto torna-se necessário a seleção de genótipos superiores e altamente produtivos as mais variadas condições de sítio e arranjos de plantio. Como critérios ou índices para seleção, Santana et al. (2002) citam a produtividade, qualidade da madeira, forma da árvore, resistência à doenças, e, a avaliação

da eficiência de utilização de nutrientes (EUN), empregada em programas de seleção de genótipos no Brasil, a partir da década de 90.

A EUN (SANTANA et al., 2002) ou também chamada de CUB, coeficiente de utilização biológica (BARROS et al., 1986) trata da relação entre a matéria seca do tronco e a quantidade de nutrientes acumulados no tronco, ou ainda, conforme Quinkenstein et al. (2009), do nutriente no solo. Representa a capacidade da espécie em produzir com alto rendimento no sítio com característica nutricional limitante (MACHADO et al., 2001). A elevada EUN indica alta capacidade da espécie de produzir grande quantidade de biomassa a partir da quantidade de nutrientes absorvidos.

Na literatura, diversos são os estudos que avaliam a EUN para selecionar espécies ou clones na área florestal (DICK et al., 2017; SILVA, 2017; ROSIM et al., 2016; MEDEIROS et al., 2016; GUIMARÃES et al., 2015; FARIA et al., 2008),

especialmente para o *Eucalyptus urograndis*, clone H13 em consórcio de ILPF (CARVALHO, 2017), compreendendo especialmente, os compartimentos da biomassa exportados na colheita (tronco e casca).

No entanto, escassos são os resultados da relação entre a EUN com a densidade (LEITE et al., 2011) ou configuração de plantio, ou ainda com sua variação e partição nos compartimentos da biomassa quando esses, dependendo do objetivo de produção, são totalmente exportados do sítio, no processo de colheita, como os sistemas de remoção e aproveitamento industrial total da árvore (*full tree*).

O padrão de comportamento da EUN pode apresentar variações conforme o sítio, a densidade de plantio (MEDEIROS, 2018; CAMARGO et al., 2004) e a espécie (SANTANA et al., 2002), uma vez que esses fatores influenciam diretamente na produção de biomassa. Em plantios com clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* observou-se diferenças da EUN entre os clones, influenciando consequentemente a produção de biomassa (ROSIM et al., 2016). Além dessa variação entre clones ou espécies, pode também ocorrer a variação de EUN nos compartimentos da biomassa dentro do mesmo indivíduo conforme observado para espécies nativas do Cerrado, revelando que os indivíduos, independentemente do sítio, possuem EUN diferentes em função do material genético e em função do compartimento (ALVES et al., 2017). O estudo da EUN por compartimentos se mostra relevante em vista do uso das árvores, na colheita, com devolução dos resíduos ou aproveitamento 100% do material explorado. Contudo, vale destacar que a EUN das folhas e os galhos finos pode ser mais complexa durante o ciclo do plantio, devido esses compartimentos estarem mais constantemente em renovação na floresta.

Como o material genético apresenta diferenças na EUN nas diferentes densidade de plantio, pode-se afirmar que a qualidade de sítio e a densidade de plantio são fatores relevantes na variabilidade da EUN (MEDEIROS, 2018; CAMARGO et al., 2004), evidenciando a importância na seleção de espécies ou clones mais adaptados às características do sítio.

Para o eucalipto, estudos apontam que existe uma relação inversamente proporcional entre a EUN e a disponibilidade nutricional ou fertilidade do solo (MEDEIROS, 2018; ALVES et al., 2017; SANTANA et al., 2002; BARROS et al., 1986), bem como uma correlação positiva com a densidade, ou seja, ela aumenta com um menor espaçamento entre árvores (MEDEIROS, 2018), em razão do grau de competição entre indivíduos, o que talvez possa ser observado em diferentes configurações de arranjo do sistema ILPF, especialmente no arranjo de linha tripla. Segundo Leite et al (1998), a densidade interfere na EUN afetando a produção, uma vez que o aumento na densidade aumenta a competição nutricional intraespecífica, reduzindo o estoque no solo, acelerando a exaustão da capacidade produtiva do sítio.

Desse modo, é imprescindível a seleção de indivíduos que garantam produtividade sem esgotar os solos (MEDEIROS, 2018; ROSIM et al., 2016), para diferentes sítios e regimes de adubação (BARROS et al., 1986; SANTANA et al., 2002; LIMA et al., 2005), bem como a escolha de densidades de plantio adequadas à espécie ou clone a se cultivar. Além disso, empregar ou selecionar estratégias de manejo de fertilizantes, como a manutenção da casca, galhos e folhas no solo, pós-

colheita (GAMA-RODRIGUES; BARROS, 2002), também é importante na manutenção da capacidade produtiva (MEDEIROS, 2018; GATTO et al., 2014), auxiliando na manutenção da qualidade do solo. A exportação nutricional e a EUN apresentam relação mútua a qual depende da interação do manejo e da idade de corte, ou seja, conforme Quinkenstein et al. (2009), quanto maior a EUN menor é a quantidade de nutrientes exportada pela colheita.

A compreensão relacional dos compartimentos da biomassa e da densidade de árvores na utilização de nutrientes, em ILPF se mostra importante, uma vez que a agricultura moderna tem 30% do custo total da produção associado à fertilização. A otimização da EUN é de grande importância na produção e determinação de espécies ou clones mais eficientes e adaptáveis aos sítios (SANTANA et al., 2002; BARROS et al., 1986). Assim, o conhecimento da EUN e da produção de biomassa esperada a partir do material genético, permite estimar a quantidade de nutriente requerida para o suprimento adequado do ciclo, proporcionado a produtividade desejada (SAIDELLES et al., 2010; LEITE et al., 2011). Estas informações contribuem para o uso racional dos nutrientes e das condições de cada sítio, buscando melhorias tanto nas condições ecológicas, pela maior sustentabilidade, quanto nas econômicas, pela redução de custos com a reposição por fertilizantes químicos (MEDEIROS, 2018).

O objetivo do estudo foi avaliar o efeito das configurações de plantio do sistema agrossilvipastoril sobre a eficiência de utilização de nutrientes nos diferentes compartimentos da biomassa do eucalipto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em um plantio de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, clone H13, aos 60 meses, cultivado em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), em Nova Canaã, no Mato Grosso (10°24'09,15" S e 55°43'22,88" O), em uma altitude média de 300 a 400 metros. O clima local, conforme Köppen, é do tipo tropical chuvoso com estação seca (*Am monsoon*), apresentando temperatura média de 25°C e precipitação média anual de 2.500 a 2.800 mm (ALVARES et al., 2013). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distroférrico de textura média (SANTOS et al., 2013), com granulometria de 440 g.kg⁻¹ de argila, 144 g.kg⁻¹ de silte e 416 g.kg⁻¹ de areia, na camada 0,0-0,2m (MAGALHÃES et al., 2018).

Após a supressão da vegetação nativa, em 1998, foi introduzido o cultivo de pastagem forrageira com a espécie *Brachiaria brizantha* cv *Marandu* por dois anos. Posteriormente, por seis anos consecutivos, foram cultivadas culturas anuais, de arroz por dois anos e quatro anos com soja na safra e milho safrinha. Em 2006, foi introduzida novamente *B. brizantha* com o pastejo de bovinos por três anos. Após esse período, a forrageira foi dessecada com glifosato (1,26 kg.ha⁻¹, de ingrediente ativo) e realizou-se a implantação do sistema de integração lavoura-pecuária floresta. O *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (clone H13) foi cultivado em consórcio com a lavoura de arroz e pastagem de *Brachiaria brizantha* cv *Marandu*, por um ano, em consórcio com soja, milho e pastagem por dois anos e após este, em consórcio somente com pastagem (MAGALHÃES et al., 2018). Dois meses precedentes ao plantio das mudas foi realizada a análise de solo, na profundidade 0,0-0,2m, o qual apresentou um pH em água de 5,70; P (Mehlich) de 2,50 mg.dm⁻³, K (Mehlich)

de 111 mg.dm⁻³, Ca de 1,56 cmolc.dm⁻³, Mg de 0,44 cmolc.dm⁻³, Al de 0,00 cmolc.dm⁻³, matéria orgânica de 17 g. dm⁻³, H de 1,75 cmolc.dm⁻³ e saturação por bases (%) de 56.

O preparo do solo envolveu o cultivo mínimo e o plantio das mudas de eucalipto foi realizado em faixa simples (2 x 20 m), dupla (2 x 2 x 20 m), tripla (3 x 2 x 20 m) e o cultivo homogêneo (4 x 3 m) no sentido leste-nordeste a oeste-sudoeste, em talhões de 5ha (200 x 250 m) cada, representando uma densidade respectiva de 250, 434, 537, 833 árvores por hectare. No plantio foram aplicados 200 g por planta de NPK (01-18-18). Já aos 10 a 14 meses pós-plantio das mudas, realizou-se a adubação de cobertura com NPK na formulação de 20-00-10, sendo 100 g por planta, acrescido de 2% de boro e 1% de zinco.

Após a quantificação da biomassa (residual, galhos grossos, madeira, casca e total) e a determinação do estoque de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B e Zn) das árvores

amostradas, sendo quatro árvores no arranjo de faixa simples e no cultivo homogêneo, oito árvores no arranjo duplo e 12 árvores no arranjo de faixa tripla, todas essas localizadas próximas aos pontos de coleta de solo (WINK et al., 2018), foi calculada a eficiência de utilização de nutrientes, pela razão entre a biomassa seca e a quantidade de nutrientes (Tabela 1), conforme metodologia proposta por Barros et al. (1986).

A EUN por nutriente, em cada compartimento da biomassa, por arranjo de plantio foi avaliado pela estatística descritiva da média, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV), no software Microsoft Excel®. Comparou-se os resultados de EUN de macro e micronutrientes entre os arranjos de plantio por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis com comparação entre grupos (arranjos) pelo teste de Dunn, ambos ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 1. Biomassa e estoque de nutrientes dos compartimentos de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone H13) cultivado em diferentes arranjos de ILPF aos 60 meses, em Nova Canãa, Mato Grosso.

Table 1. Biomass and nutrient stocks of compartments of *E. grandis* x *E. urophylla* (clone H13) cultivated in different CLF arrangement at 60 months in Nova Canãa, Mato Grosso.

Compartimento	Arranjo	Biomassa (t ha ⁻¹)	Macronutrientes (kg ha ⁻¹)					Micronutrientes (g ha ⁻¹)		
			N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn
Biomassa residual	Simples	6,21	111,90	7,02	64,07	74,59	23,19	4,25	204,44	97,78
	Duplo	7,35	150,73	7,66	74,39	94,34	36,55	4,34	242,05	125,42
	Tripla	7,54	134,65	7,00	83,42	83,77	27,40	5,10	248,24	110,32
	Homogêneo	6,02	98,80	6,49	64,17	76,33	30,67	3,58	198,13	103,35
Galhos grossos	Simples	6,93	21,19	4,67	14,84	72,95	14,45	3,14	228,10	57,92
	Duplo	6,63	17,14	5,36	13,89	69,12	13,14	3,68	218,13	47,81
	Tripla	6,70	19,99	4,20	13,88	67,48	14,64	3,90	220,67	50,16
	Homogêneo	13,89	37,26	11,31	34,62	143,22	28,49	8,59	457,14	104,02
Madeira	Simples	52,44	183,28	18,11	36,06	368,58	66,17	34,54	1725,71	308,95
	Duplo	78,00	267,64	48,80	60,48	532,14	101,49	46,39	2566,46	405,73
	Tripla	108,89	384,31	50,92	75,88	777,55	167,39	65,12	3582,29	614,68
	Homogêneo	129,57	476,00	40,67	93,30	985,93	198,41	65,90	4262,74	842,56
Casca	Simples	8,26	30,66	9,93	45,21	206,96	29,92	6,02	271,67	134,52
	Duplo	14,58	54,67	18,31	90,91	379,04	59,30	11,33	479,88	228,13
	Tripla	18,27	67,73	23,56	122,17	451,43	71,81	12,99	601,09	308,97
	Homogêneo	21,62	81,50	28,07	154,54	568,70	84,43	13,24	711,31	374,76
Total	Simples	73,84	347,02	39,73	160,17	723,08	133,73	47,96	2429,92	599,18
	Duplo	106,57	490,18	80,13	239,67	1074,64	210,49	65,74	3506,56	807,09
	Tripla	141,40	606,67	85,68	295,35	1380,23	281,23	87,11	4652,37	1084,13
	Homogêneo	171,11	693,56	86,54	346,62	1774,19	342,01	91,31	5629,30	1424,68

em que - Biomassa residual: folhas e galhos finos.

3. RESULTADOS

No geral, a média de EUN variou de 49 a 3.257 kg kg⁻¹ para os macronutrientes, com DP de 2,78 a 528,19 e CV de 2,08 a 33,44%. Já para os micronutrientes, essa média variou de 30.376 a 192.125 kg kg⁻¹, com DP de 1,32 a 23.336,50 e CV de 0,004 a 28,41%. Os valores de CV indicam uma qualidade aceitável em relação a homogeneidade de dispersão da média de EUN nos arranjos de plantio do clone de eucalipto.

Considerando a EUN dos macronutrientes (Tabela 2), por compartimento da árvore, observa-se que na biomassa total, a EUN média dos macronutrientes variou de 97,28 a 1976,35 kg kg⁻¹, com a maior EUN para o P, seguido pelo S, Mg, K, N e Ca. Na biomassa residual e nos galhos grossos, a variação média de EUN para os macronutrientes foi de 49,43 a 1.695,99 kg kg⁻¹ e de 94,49 a 2.188,08 kg kg⁻¹, respectivamente. Nesses dois compartimentos da biomassa,

a maior média de EUN foi para o S, seguido pelo P, Mg, K, Ca e N, alterando a posição, apenas entre o Ca e N, nos galhos grossos, independentemente do arranjo de plantio. Já na madeira e casca, a média de EUN dos macronutrientes variou de 131,59 a 3.257,19 kg kg⁻¹, e de 41,02 a 1725,78 kg kg⁻¹, respectivamente. Independentemente do arranjo, observa-se que na madeira, o P tem a maior média de EUN seguido do S, K, Mg, N e Ca, contudo na casca, ocorrem trocas de posição entre o P e o S e entre o K e o N.

Para os micronutrientes (Tabela 2), a EUN em média, variou de 30.376,93 a 30.396,87 kg kg⁻¹ no B e de 58.514,71 a 192.124,09 kg kg⁻¹ no Zn, independentemente do compartimento e do arranjo. Pode-se destacar, de modo geral, que o Zn apresentou valores superiores de EUN em todos os compartimentos da biomassa e arranjos de plantio, quando comparado aos demais micronutrientes, nesse caso o B.

Tabela 2. Eficiência de utilização de nutrientes (EUN) média do *E. grandis* x *E. urophylla* (clone H13) cultivado em diferentes arranjos de ILPF, aos 60 meses, em Nova Canãa, Mato Grosso.Table 2. Average nutrient utilization efficiency (EUN) of *E. grandis* x *E. urophylla* (clone H13) cultivated in different CLF system arrangements, at 60 months, in Nova Canãa, Mato Grosso.

Compartimento	Arranjo	Eficiência de utilização de nutrientes, EUN (kg kg ⁻¹)							
		N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn
Biomassa residual	Simples	55,51	914,17	101,22	85,85	271,46	1.544,37	30.396,87	66.572,75
	Duplo	49,43	970,48	98,79	80,11	224,49	1.662,97	30.383,91	60.424,00
	Triplo	55,80	1.078,13	92,85	90,34	275,95	1.536,38	30.376,93	68.885,82
	Homogêneo	64,65	927,41	94,14	79,29	197,73	1.695,99	30.388,44	58.514,71
Galhos grossos	Simples	338,68	1.510,82	474,97	94,49	482,87	2.188,08	30.379,89	118.320,56
	Duplo	387,23	1.378,00	487,92	95,23	502,08	1.876,30	30.387,56	138.796,79
	Triplo	334,68	1.643,88	529,62	101,55	465,27	1.743,03	30.381,48	138.277,51
	Homogêneo	376,55	1.242,18	406,84	96,23	491,04	1.627,79	30.391,73	134.519,08
Madeira	Simples	286,15	2.941,43	1465,28	142,33	793,91	1.542,46	30.390,90	172.589,28
	Duplo	290,69	1.707,93	1330,55	146,07	781,22	1.810,21	30.392,00	192.124,09
	Triplo	283,91	2.232,20	1483,00	141,08	732,43	1.727,18	30.396,03	177.512,48
	Homogêneo	272,38	3.257,19	1385,55	131,59	680,97	1.988,44	30.395,66	156.063,18
Casca	Simples	269,90	826,25	182,76	39,79	278,62	1362,32	30.390,90	65.783,11
	Duplo	255,90	770,27	156,41	36,55	239,82	1291,16	30.392,00	65.111,72
	Triplo	270,85	803,77	152,65	41,02	260,57	1579,39	30.395,92	60.830,82
	Homogêneo	264,83	782,79	143,99	41,42	263,77	1725,78	30.395,66	61.647,98
Total	Simples	212,82	1.871,31	464,51	102,19	555,31	1.558,53	30.390,08	125.485,46
	Duplo	218,05	1.378,96	448,99	99,38	514,77	1.704,14	30.390,48	132.600,63
	Triplo	233,69	1.675,34	479,22	102,33	530,58	1.669,80	30.393,40	130.132,33
	Homogêneo	247,07	1.976,35	500,64	97,28	508,62	1.876,31	30.394,79	121.984,09

em que - Biomassa residual: folhas e galhos finos.

Não se observa um padrão no aumento da EUN com o aumento no número de árvores na faixa de cultivo (densidade) nas diferentes configurações de plantio.

Contudo, analisando a configuração de plantio em vista da densidade de árvores, pode-se observar para os macronutrientes, que no compartimento biomassa total, o cultivo homogêneo apresentou a maior EUN de N, P, K e S, seguido pelo arranjo de linha tripla para o Ca e o de linha simples para o Mg. Na biomassa residual, a maior eficiência ocorreu no cultivo homogêneo (N e o S), seguido do arranjo de linha tripla (P, Ca e Mg) e, por fim do arranjo de linha simples (K). Nos galhos grossos, a maior EUN foi identificada no arranjo de linha tripla (P, K e Ca), seguido pelo arranjo de linha dupla (N e Mg) e pelo arranjo simples (S). Na madeira, o cultivo homogêneo apresentou a maior eficiência para o P e S, seguido do arranjo de linha tripla com o K, dupla para o N e o Ca, e do arranjo simples (Mg). Para a casca, o cultivo homogêneo foi mais eficiente para o Ca, seguido pelo arranjo tripla (N) e por fim pelo arranjo simples (P, K e Mg).

Para o B e Zn, a EUN entre os arranjos, na biomassa total apresentaram tendência do homogêneo > triplo > duplo > simples e do duplo > triplo > simples > homogêneo, respectivamente. Na biomassa residual, foi do simples > homogêneo > duplo > triplo e do triplo > simples > duplo > homogêneo. Nos galhos grossos, a variação foi do homogêneo > duplo > triplo > simples e do duplo > triplo > homogêneo > simples. Na madeira e casca, a EUN de Zn foi similar a tendência da EUN Zn dos galhos grossos, contudo apenas alterando-se de posição o cultivo homogêneo com o arranjo simples. Já para a EUN de B, na madeira e casca, a tendência foi do arranjo triplo > homogêneo > duplo > simples.

Na avaliação estatística sobre o efeito da configuração de plantio sobre a EUN, observa-se diferenças significativas da EUN entre os arranjos somente para o N (p: 0,0296), P (p: 0,0165) e Mg (p: 0,0160) na biomassa residual, para o N (p: 0,0072) e o P (p: 0,0265) nos galhos grossos e para o P na madeira (p: 0,0004) e na biomassa total (p: 0,0006). Apesar da EUN de P nos galhos grossos ser significativa, não se observou diferenças entre arranjos, pelo teste de Dunn. As demais comparações não significativas apresentaram p-valor variando de 0,06 a 0,95 (Tabela 3). Para os resultados significativos, de modo geral, observa-se que o cultivo homogêneo e o arranjo tripla intercalaram-se entre as médias de EUN significativamente superior. Contudo, o arranjo de linha dupla apresentou, as menores médias de EUN, nas comparações significativas entre arranjos (Figura 1).

Na análise por compartimento, constata-se que na biomassa residual, para a EUN de P e de Mg, diferenças significativas foram registradas apenas entre o arranjo de linha tripla, com a maior média e o cultivo homogêneo, com a menor média (exceto ao Mg). Para a EUN de N, o cultivo homogêneo, com a maior média, diferiu significativamente do arranjo duplo. Além disso, não se observou diferenças significativas entre os arranjos de linha simples, dupla e tripla para a EUN de N, P e Mg na biomassa residual.

Para os galhos grossos, o arranjo de linha dupla, com a maior média de EUN para o N, difere apenas do arranjo de linha tripla. Na biomassa residual e na madeira observa-se que para a EUN de P, o cultivo homogêneo, com maior média, seguido pela média do arranjo simples diferem significativamente apenas do arranjo em linha dupla, com a menor média.

Tabela 3. Resultados (H' e p-valor) do teste Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade para a EUN dos compartimentos da biomassa de *E. grandis* x *E. urophylla* (clone H13) cultivado em diferentes arranjos de ILPF aos 60 meses, em Nova Canãa, Mato Grosso.

Table 3. Results (H' and p-value) of the Kruskal-Wallis test at 5% probability for EUN of *E. grandis* x *E. urophylla* (clone H13) biomass compartments cultivated in different CLF arrangements at 60 months, Nova Canãa, Mato Grosso.

Compartimento	H' de Kruskal-Wallis (p-valor)							
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn
Biomassa Residual	9,2718 (0,0296)	10,2521 (0,0165)	0,7637 (0,8581)	6,9064 (0,0749)	10,3257 (0,0160)	1,1194 (0,7724)	4,6890 (0,1960)	6,8840 (0,0757)
Galhos Grossos	12,0522 (0,0072)	9,2170 (0,0265)	4,1786 (0,2428)	4,4218 (0,2194)	3,1175 (0,3739)	5,7006 (0,1271)	6,9973 (0,0720)	4,4100 (0,2205)
Madeira	7,2906 (0,0632)	18,3357 (0,0004)	3,1402 (0,3705)	7,2906 (0,0632)	4,1151 (0,2493)	5,5756 (0,1342)	2,0638 (0,5593)	6,8464 (0,0770)
Casca	1,2597 (0,7387)	1,5792 (0,6641)	5,5449 (0,1360)	1,0917 (0,7791)	3,1755 (0,3654)	3,0000 (0,3916)	1,9204 (0,5891)	0,3117 (0,9578)
Total	7,0450 (0,0705)	17,1977 (0,0006)	2,1921 (0,5335)	1,7562 (0,6245)	4,0006 (0,2614)	5,3898 (0,1454)	1,4243 (0,6999)	0,3356 (0,9532)

em que - Biomassa residual: folhas e galhos finos; Valores em negrito são significativos pelo teste de Kruskal-Wallis, ao nível de 5% de probabilidade.

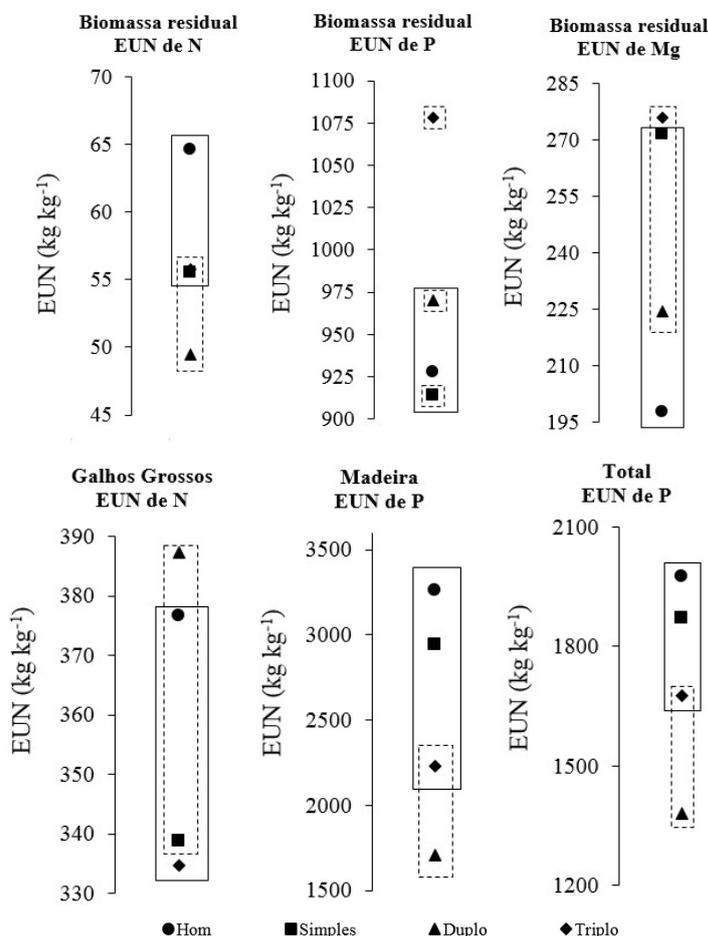


Figura 1. Médias de EUN da biomassa residual (N, P e Mg), galhos grossos (N), madeira e total (P) significativas pelo teste de Kruskal-Wallis e teste de Dunn, ao nível de 5%. Médias inseridas no retângulo com mesma borda não diferem entre si.

Figure 1. EUN values of the residual biomass (P and Mg), thick branches (N), wood and total (P) significant by the *Kruskal-Wallis* test and the Dunn test at the 5% level. Means inserted in the rectangle with the same border do not differ from each other.

4. DISCUSSÃO

De modo geral, os valores de EUN estão contemplados na faixa de valores relatados pela literatura. Segundo Barros et al. (1986), para o tronco, a EUN de P varia de 3000 a 11200 kg.kg⁻¹, e indica que a medida que a disponibilidade do nutriente no solo diminui, a EUN deste nutriente na planta, aumenta e vice-versa, ou seja, maior disponibilidade de

nutrientes, menor a EUN. No caso do sistema agrossilvipastoril de Nova Canãa, a EUN do P no cultivo homogêneo está no limite indicado, contudo nos arranjos de ILPF, esse valor é inferior a 3000 kg.kg⁻¹. Essas diferenças podem ser explicadas, não somente pelas diferenças na configuração do ILPF, mas especialmente, pela contribuição do aporte de nutrientes proporcionados pelos cultivos

associados ao plantio do eucalipto, desde o ano de instalação, as culturas de grãos receberam adubação fosfatada de base (arroz, no 1º ano, soja e milho safrinha no 2º e 3º ano), totalizando cinco aplicações nos primeiros anos de cultivo com lavoura e pastagem.

No entanto, independentemente do compartimento e do arranjo de plantio, a EUN média de P e S, apresentou valores superiores aos demais macronutrientes, indicando que estes nutrientes são utilizados de forma mais eficiente pelas árvores, igualmente observado por VIERA et al. (2015). Os demais nutrientes apresentaram mesma variação em ordem de magnitude, comportamento semelhante também registrado por outros autores (MEDEIROS, 2018; ALVES et al., 2017; ROSIM et al., 2016; FARIA et al., 2008; SANTANA et al., 2002).

A EUN dos macronutrientes variou em relação a magnitude dos nutrientes, especialmente para o P, S, K, Mg, N e Ca, em relação a literatura. A exceção ao Ca, ocorre por ele ser um macronutriente imóvel na planta, apresentando assim menores índices de EUN, já o N apresenta a segunda menor eficiência, pois normalmente as plantas necessitam de altas quantidades de N, e na maioria das culturas é o nutriente mais utilizado. No presente caso é importante salientar que a disponibilidade de N no solo, apesar de não mensurada, possivelmente se manteve alta durante o cultivo das árvores nos sistemas integrados, advindo tanto do cultivo da soja por dois anos, como pelo material fecal depositado pelos animais em pastejo, a partir do 3º ano. Faria et al. (2008) registraram médias de EUN decrescendo do P, Mg, K, N e Ca, em plantio de *E. urophylla* x *E. grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 57 meses, em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa no espaçamento de 3,0 x 2,0 m. Já para Santana et al. (2002), a EUN decresce de P, Mg, K, N e Ca, em procedências de *E. grandis* e *E. saligna*, aos 78 meses cultivado em espaçamento de 3,0 x 1,8 m.

Os valores reportados pela literatura (FARIA et al, 2008; SANTANA et al, 2002) são superiores ao presente estudo e possuem uma troca de posição entre o K e o Mg. Em relação ao comportamento do K, o qual reflete no comportamento do P, sendo que ambos são fortemente dependentes de água para a absorção, havendo um aumento da EUN quando empregado espaçamentos menores que influenciam no grau de competição aos fatores hídrico e nutricional.

Em vista da EUN nos diferentes compartimentos, percebe-se que na biomassa residual foi registrado uma magnitude decrescente de EUN de S, P, Mg, K, Ca e N. Esses resultados corroboram a EUN da biomassa de folhas e galhos de espécies nativas em área de preservação no Cerrado (ALVES et al., 2017). No entanto, esses são inferiores a magnitude da EUN de P, Mg, Ca, K e N registrado em plantio de *E. grandis* x *E. urophylla* em espaçamento 3,5 x 2,0 m, em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (ROSIM, et al., 2016) e da EUN de folhas e galhos, reportados em plantio de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus*, aos 10 anos, em Argissolo Vermelho Distrófico típico (VIERA et al., 2015).

Essas variações na biomassa residual podem ser explicadas pelo processo contínuo de renovação principalmente das folhas, a partir da intensificação da ciclagem bioquímica na árvore, que ocorre a cada 2 a 2,5 anos, apresentando uma maior eficiência devido à maior quantidade de nutrientes devolvida em ciclos contínuos de deposição de serapilheira. Como os nutrientes das folhas

voltam para o sistema, mostra-se que ela não é só importante no balanço nutricional do sítio, mas também relevante no conhecimento de sua eficiência, principalmente em sistemas de colheita onde se remove tal compartimento para aproveitamento.

Nos galhos grossos, a magnitude decrescente da EUN foi de S, P, Mg, K, N e Ca e esses resultados também são diferentes na ordem de magnitude e inferiores aos registrados para EUN de P, Mg, N, K e Ca em plantio de *E. grandis* x *E. urophylla* aos 2,25 anos em espaçamento 3,5 x 2,0 m, em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (ROSIM et al., 2016), mas similares aos reportados por Alves et al. (2017).

Os compartimentos madeira e casca, apresentam a mesma ordem decrescente da EUN de P, S, K, Mg, N e Ca, sendo esses inferiores aos valores reportados por Viera et al. (2015) em *Eucalyptus urophylla* x *E. Globulus*, aos 10 anos, no espaçamento de 3,5 x 2,5 m, em Argissolo Vermelho Distrófico típico. A baixa EUN do Ca nos diversos compartimentos é devido sua imobilização interna no floema, considerado como imóvel na planta, que é causada pela sua forma de armazenamento orgânico, o oxalato de cálcio, que acaba interferindo na retranslocação deste elemento para outros tecidos, resultando em grande acúmulo, principalmente na madeira (SANTANA et al., 2002). Alves et al. (2017) também registrou para madeira e casca, a menor eficiência nutricional de N e Ca.

A separação da biomassa em compartimentos permite a destinação da madeira para fins comerciais, e a manutenção no solo pós-colheita, dos resíduos florestais, especialmente as folhas, galhos e casca. A manutenção dos resíduos florestais sobre o solo pode ser utilizada como fertilizante natural, com isso reduzindo o gasto com adubação química, além de proteger contra erosão e manter a microbiota ativa do solo, garantindo a produtividade a longo prazo do sítio. Segundo Guimarães et al. (2015), práticas com descascar o tronco em campo pode reduzir em até 60% a taxa de remoção de Ca, em 48% a de Mg, em 21% de K e em 18% de N.

As diferenças desses resultados aos reportados pelos apontamentos da literatura podem ser atribuídos a variabilidade das características ambientais, como por exemplo, diferenças na textura do solo que pode afetar diretamente e positivamente a relação nutricional, uma vez que solos mais argilosos tem maior capacidade de retenção de água e nutrientes, sejam cátions ou ânions. Em solos tropicais, que geralmente possuem baixa capacidade de troca de cátions (CTC), o acúmulo de matéria orgânica afeta indireta e positivamente à capacidade de sustentação nutricional dos solos. O aumento do teor de argila promove um aumento na EUN de P, o que compensa, em partes, a deficiência deste nutriente em relação a solos mais arenosos já que a argila possui características físicas capazes de reter por mais tempo este elemento e proporcionar as plantas, em condições de boa capacidade hídrica, maiores estoques de P (MEDEIROS, 2018).

Em relação a espécie, vale destacar que ela é eficiente na utilização de nutrientes quando ela consegue produzir o máximo de biomassa com os nutrientes disponíveis. A variação dessa eficiência pode ser alta ou baixa dependendo do solo, da quantidade de nutriente disponível e do equilíbrio nutricional ótimo ou crítico entre o solo-planta e das relações hídricas (SANTANA et al., 2002), bem como do

compartimento da biomassa avaliado. Dificilmente é possível encontrar um material genético que seja altamente eficiente na utilização de todos os nutrientes (BARROS et al., 1986; SANTANA et al., 2002).

Para os micronutrientes B e Zn, independentemente do compartimento e arranjo, os mesmos apresentam comportamento semelhante. É possível identificar a mesma tendência do Zn e do B desse estudo com o verificado em plantio de *E. urophylla* x *E. globulus* em Argissolo Vermelho distrófico típico, aos 120 meses, no Rio Grande do Sul (VIERA et al., 2015).

Pode-se destacar que para os micronutrientes se confirma a teoria de Barros et al. (1986), em que a EUN aumenta com a redução da disponibilidade do nutriente no solo. A redução da disponibilidade e consequente deficiência desses nutrientes é comum de ser observada em plantios de eucalipto em solos de cerrados (SILVA et al., 2012b). Portanto, sua disponibilidade é afetada pelo tipo de solo, pH, umidade e presença de matéria orgânica.

Segundo Silva et al. (2012b) recordando informações da literatura, expõem que o B participa da divisão celular, funções da membrana e formação da parede celular primária, e mesmo em diferentes doses desses, tem-se um acréscimo de produção de matéria seca em solos arenosos com déficit hídrico. Já para o Zn, observa-se maior fluxo na região das raízes quando do menor teor de argila, consequentemente maior absorção, diminuindo com o aumento da alcalinidade e tornando o disponível em meio alcalino somente por sua ligação com substâncias orgânicas. Portanto, independentemente da textura do solo, manter o nível adequado de matéria orgânica, permite uma disponibilização desses nutrientes, permitindo um aumento na eficiência nutricional (FAGERIA, 1998).

Portanto, além de considerar a EUN da biomassa total, a sua avaliação por compartimento da árvore, especialmente aqueles a serem removidos no processo de exploração, auxiliam na tomada de decisão quanto ao aproveitamento dos produtos florestais, impactando positivamente a manutenção nutricional do solo, importantes para um plantio florestal de alta produtividade. Contudo, para Santana et al. (2002), nem sempre uma alta EUN está necessariamente associada à uma alta produtividade.

Em análise ao efeito da densidade plantio sobre a EUN dos diferentes nutrientes, observa-se que somente para o P ocorreu uma sensibilidade significativa para todos os compartimentos da biomassa. Em contrapartida, o N e o Mg mostraram variações significativas apenas na biomassa residual e nos galhos grossos. Como o P é dependente da disponibilidade hídrica para ser utilizado pelas plantas, a maior densidade populacional em um plantio resultará em aumento da EUN em função da competição por água entre os indivíduos resultando em redução do estoque nutricional no solo (SHUJAUDDIN et al., 2003).

Em vista dos demais nutrientes, observa-se que Mg apresentou o mesmo comportamento ao P em vista da densidade do plantio, no entanto, é um elemento estocado mais intensivamente na madeira e na casca (GUERRA et al., 2012). Por ser essencial no processo da fotossíntese, que acontece nas folhas, o Mg possui reposição acentuada devido à sua ciclagem por meio da decomposição da serapilheira, contudo, ocorre em menor intensidade em relação a reposição do N. O contraste quanto ao aumento da EUN de Mg, em função da maior competição, é esperado devido à

forte relação deste elemento com a fotossíntese, dado sua importância na composição estrutural da molécula de clorofila.

Para Fageria (1998), assim como o Ca, o Mg e o P são nutrientes deficientes em solos ácidos, sendo o P, o nutriente mais limitante ao crescimento das plantas. No entanto, se esses quando fornecidos em quantidades adequadas estimulam a eficiência nutricional, em virtude de proporcionar o crescimento das plantas por sua adequada absorção, o que realmente aconteceu no presente estudo, com reposição via calagem e adubação fosfatada.

A respeito da configuração de plantio, no geral, não se observa o aumento da EUN com o aumento da densidade de plantas e a consequente redução da área útil por indivíduo para os nutrientes, contudo essas variações não ocorrem dissociadas da influência das características do histórico da área pré e pós-plantio dos sistemas de integração. Segundo Fageria (1998), o uso adequado do espaçamento e da densidade de plantas se constitui uma recomendação específica para aumento da eficiência nutricional.

Para Silva et al. (2012a), em média a EUN em plantio de eucalipto não sofre alteração quando da redução da densidade e consequente aumento do espaçamento, como pelo resultado do desbaste, exceto para o N, Mg e S, em que o N e o S apresentaram maior quantidade acumulada na biomassa, nas menores intensidades de desbaste. Além do efeito do desbaste, o Ca apresentou menor eficiência na combinação de fertilização e desbaste, na intensidade de 20%, ou seja, nas menores intensidades de desbaste ocorreu também maior quantidade acumulada desse nutriente.

Diferentemente disso, para Martins et al. (2019), o menor espaçamento entre plantas resultou no aumento da competição intraespecífica entre clones de eucalipto, com menor acumulação nutricional e alterações na partição da biomassa. No entanto, evidências mostraram que dependendo do clone, a produção de biomassa, especialmente de casca, é diferenciada em densidades maiores, com menor acúmulo nutricional, indicando maior eficiência nutricional. A maior densidade populacional contribui para a maior produção da biomassa desse compartimento e assim a maior acumulação de nutrientes, sendo que desses, especialmente o Ca, N e K podem ser exportados substancialmente quando da não devolução da casca em campo, principalmente em plantios mais adensados.

A densidade do plantio pode, eventualmente, aumentar a demanda por água, luz e nutrientes, constatando que, ao se elevar o estoque dos nutrientes no solo por fertilização, há uma redução temporária na EUN dos nutrientes adubados, logo, os nutrientes apresentam relação ao aumento da densidade, resultando em aumento da EUN com o aumento de plantas por área (SILVA, 2017). Assim, sugere-se o plantio de plantas poucos eficientes na absorção de determinado nutriente em solos com boa disponibilidade desse nutriente. Do contrário, o cultivo de um material genético altamente eficiente por um nutriente, em um solo com baixa disponibilidade desse elemento, causará uma diminuição da capacidade produtiva do sítio, caso não ocorra práticas silviculturais como a adubação (VIERA et al., 2015), não desconsiderando ainda, o histórico de uso da área ou das práticas de manejo aos cultivos associados, se houver, que podem influenciar na disponibilidade ou não dos nutrientes.

5. CONCLUSÕES

Conclui-se que, apesar de não ocorrer um padrão típico de variação da EUN nas configurações de plantio das faixas de cultivo arbóreo no ILPF, o sistema agrossilvipastoril, de certo modo influenciou a EUN, dependendo do nutriente, da configuração de plantio e do compartimento da biomassa avaliado. A totalidade desse efeito pode ainda estar associado à influência do histórico de uso da área e da contribuição nutricional dos cultivos associados no ILPF, durante o ciclo de produção.

O aumento da densidade de plantio proporcionou somente o aumento da EUN de N, K e Zn na biomassa total e da EUN de S na casca, contudo efeitos significativos entre as configurações de plantio dos sistemas ILPF só ocorreram para a EUN de P, e Mg na biomassa residual, de N nos galhos grossos e de P na madeira e na biomassa total.

A biomassa residual que permanece pós-exploração, apresenta a menor EUN para o N e Mg, significando maior acúmulo no tecido vegetal e maior reposição ao sítio, com constante devolução durante o ciclo produtivo. A casca, extraída com a colheita, apresenta a menor EUN para o Ca, indicando maior acúmulo no tecido, e consequentemente maior exportação pós-colheita. A madeira e os galhos grossos, apresentam também menor EUN de Ca, e dependendo do objetivo de manejo desses no momento da colheita, favorece a sua devolução ou extração, ao sítio.

6. AGRADECIMENTOS

À Fazenda Gamada e a Embrapa Agrossilvipastoril pelo apoio na disponibilização da área para o estudo.

7. REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, A. R.; FERRREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; JUNIOR, J. C. B. D.; OSAJIMA, J. A.; HOLANDA, A. C. Conteúdo de nutrientes na biomassa e eficiência nutricional em espécies da Caatinga. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 377-390, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.5902/1980509827686>
- BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; CARMO, D. N.; NEVES, J. C. L. Classificação nutricional de sítios florestais: descrição de uma metodologia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 2, p. 112-120, 1986.
- CAMARGO, M. L. P. de; MORAES, C. B. de; MORI, E. S.; GUERRINI, I. A.; MELLO, E. J. de; ODA, S. Considerações sobre eficiência nutricional em *Eucalyptus*. **Científica**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 191-196, 2004.
- CARVALHO, G. **Produtividade, participação de biomassa e nutrientes em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta**. 2017. 186f. Dissertação (Mestrado em Ciência Agrônoma), Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, 2017.
- DICK, G.; SCHUMACHER, M. V.; MOMOLLI, D. R.; GUIMARÃES, C. C.; SOUZA, H. P.; LUDVICHAK, A. A. Micronutrients and biomass in *Eucalyptus dunnii* Maiden stand. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 1-7. Viçosa, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000100013>
- EMBRAPA_EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Integração Lavoura- Pecuária-Floresta (ILPF) 2016**. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158636/1/2016-cpamt-ilpf-em-numeros.pdf>. Acesso em: 31 março de 2018.
- FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, p. 6-16, 1998.
- FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; CUNHA, V. L. P.; MARTINS, I. S.; MARTINS, R. C. C. Avaliação da produtividade, conteúdo e eficiência de utilização de nutrientes em genótipos de *Eucalyptus spp.* no vale do Jequitinhonha, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 363-373, 2008. DOI: <https://dx.doi.org/10.5902/19805098448>
- GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Ciclagem de nutrientes em floresta natural e em plantios de eucalipto e de dandá no sudeste da Bahia, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.26, n.2, p.193-207, 2002.
- GATTO, A.; BUSSINGUER, A. P.; RIBEIRO, F. C.; AZEVEDO, G. B.; BUENO, M. C.; MONTEIRO, M. M.; SOUZA, P. F. Ciclagem e balanço de nutrientes no sistema solo-planta em um plantio de *Eucalyptus sp.*, no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 879-887, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000300019>
- GUERRA, S. P. S.; SANCAS, K. P.; GARCIA, E. A.; SPINELLI, R. Eucalipto adensado: manejo para florestas energéticas. In: LEMOS, E.G. de M.; STADIOTTO, N. R. **Bioenergia: Desenvolvimento, pesquisa e inovação**. São Paulo: Editora Cultura Acadêmica, 2012. p. 125-161.
- GUIMARÃES, C. C.; SCHUMACHER, M. V.; WITSHORECK, R.; SOUZA, H. P.; SANTO, J. C. Biomassa e nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden no pampa gaúcho. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 873-882, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-67622015000500010>
- LEITE, F. P.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; VILLANI, E. M. A. Nutrient relations during an *Eucalyptus* cycle at different population densities. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 949-959, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300029>
- LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K, Ca e Mg em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 903-909, 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000600008>
- MACHADO, C. T. T.; FURLANI, A. C.; MACHADO, A. T. Índices de eficiência de variedades locais e melhoradas de milho ao fósforo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p. 225-238, 2001. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052001000300010>
- MAGALHÃES, W. de A.; FREDDI, O. da S.; WRUCK, F. J.; PETTER, F. A.; TAVANTI, R. F. R. Soil water retention curve and index as soil physical quality indicators for integrated production systems. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 38, n. 1, p. 64-73, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n1p64-73/2018>

- MARTINS, T. G. V.; ROCHA, M. F. V.; NIERI, E. M.; MELO, L. A. de; SILVA, M. L. de S.; SILVA, D. S. N. da. Nutrient accumulation in Eucalyptus bark at different population densities. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 23, n. 1, p. 40-46, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n1p40-46>
- MEDEIROS, P. L. **Produção, alocação de biomassa e aspectos nutricionais de um clone de eucalipto em função da densidade de plantio, na região litorânea do RN**. 2018. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Rio Grande do Norte, Macaíba, 2018.
- MEDEIROS, W. N.; MELO, C. A. D.; TIBURCIO, R. A. S.; SILVA, G. S.; MACHADO, A. F. L.; SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A. Crescimento inicial e concentração de nutrientes em clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* sob interferência de plantas daninhas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p.147-157, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.5902/1980509821099>
- QUINKENSTEIN, A.; WOLLECKE, J.; BOHM, C.; GRUNEWALD, H.; FREESE, D.; SCHNEIDER, B. U.; HUTTL, R. F. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. **Environmental Science and Policy**, Exeter, v. 12, n. 8, p. 1112-1121, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2009.08.008>
- ROSIM, C. C.; HSING, T. Y.; PAULA, R. C. Eficiência de utilização de nutrientes em híbridos interespecíficos de eucalipto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 540-547, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160065>
- SAIDELLES, F. L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N. Determinação do ponto de amostragem para a quantificação de macronutrientes em *Acacia mearnsii* de Wild. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 1, p. 49-62, 2010.
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência nutricional e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em sítios florestais do Estado de São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 447-457. 2002. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000400007>
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353 p.
- SHUJAUDDIN, N.; KUMAR, B. M. *Ailanthus triphysa* at different densities and fertiliser regimes in Kerala, India: growth, yield, nutrient use efficiency and nutrient export through harvest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 180, n. 1-3, p. 135-151, 2003. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00609-6](https://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00609-6)
- SILVA, N. F. **Eficiência nutricional e seus biomarcadores em eucalipto para nitrogênio, fósforo e potássio**. 2017. 124f. Tese (Doutorado em Ciências Agrônomicas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.
- SILVA, J. V. da; NOGUEIRA, G. S.; SANTANA, R. C.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA, M. L. R. de; ALMADO, R. de P. Produção e acúmulo de nutrientes em povoamento de eucalipto em consequência da intensidade do desbaste e da fertilização. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 11, p. 1555-1562, 2012a. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012001100001>
- SILVA, M. de O. P.; CORRÊA, G. F.; COELHO, P. G. R. Avaliação de dois tratamentos de adubação em plantio de eucalipto clonal em solo arenoso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, sup. 1, p. 212-222, 2012b.
- VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÚBY, P.; ARAÚJO, E. F. Implicações nutricionais com base em diferentes intensidades de colheita da biomassa de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus globulus*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 3, p. 432-439, mar. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20120367>
- WINK, C.; LANGE, A.; ARAÚJO, K. Z.; ALMEIDA, A. P. S.; BEHLING, M.; WRUCK, F. J. Biomassa e nutrientes de eucalipto cultivado em sistema agrossilvipastoril. **Revista Nativa**, Sinop, v. 6, n. sp, p.754-762, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i0.5987>