



## REVISÃO DE LITERATURA E ANÁLISE DESCRITIVA DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO PECUÁRIOS SEGUNDO A MARCA-CONCEITO CARNE CARBONO NEUTRO

Alain George Silvestre e **Souza**<sup>1</sup>; Sandra Furlan **Nogueira**<sup>2</sup>

Nº 24401

**RESUMO**– A revisão e a análise descritiva tiveram como objetivo avaliar o desempenho de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta na mitigação do metano bovino. Para isso, foram reunidas informações de estudos técnico-científicos sobre onze áreas experimentais denominadas Unidades de Referência Tecnológica (URTs). Destacou-se a importância da adoção de tecnologias sustentáveis para auxiliar na mitigação da pegada de carbono e, com isso, atingir metas de mitigação e a obtenção de selos de aprovação do Plano ABC, como o Carne Carbono Neutro (CCN) e o Carne Baixo Carbono (CBC). A revisão utilizou palavras-chave relacionadas aos sistemas integrados em pecuária e ao selo CCN em bases de acervo, sendo que as buscas também foram feitas com o nome dos principais pesquisadores da área. As informações a partir das publicações foram organizadas em uma base de dados dividida em tipos de sistemas de produção, caracterização espacial e edafoclimática das URTs, variáveis de manejo da pastagem e do pastejo, variáveis de manejo da floresta plantada e culturas anuais, e o desempenho das URTs sobre a neutralização média e saldo final de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq). O desempenho dos sistemas de integração com floresta, de acordo com o protocolo para validação da marca-conceito CCN, para neutralização média, foi em média de 1,2 UA/ha.ano. Com relação ao saldo final de emissão/remoção de CO<sub>2</sub>eq, apenas dois sistemas mitigaram todo o metano produzido e resultaram em remoção, enquanto os demais sistemas apresentaram valores de emissão, tendo, contudo, mitigado de 18 a 90% do metano bovino. A mitigação do metano entérico é possível como equilíbrio entre densidade das árvores, produção de madeira e taxa de lotação animal.

**Palavras-chaves:** Sistemas integrados, pecuária, floresta plantada, mitigação, carbono, metano entérico

<sup>1</sup> Autor, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Ciências Biológicas, PUCC, Campinas-SP; alain.gss@puccampinas.edu.br

<sup>2</sup> Orientador: Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP: sandra.nogueira@embrapa.br



**ABSTRACT–** *The narrative review and descriptive analysis aimed to evaluate the performance of crop-livestock-forest integration systems in mitigating animal methane. For this purpose, information was gathered from technical-scientific studies on eleven experimental areas called Technological Reference Units (TRUs). The importance of adopting sustainable technologies is highlighted to help mitigate the carbon footprint and achieve mitigation goals, as well as to obtain approved seals from the ABC Plan, such as Carbon Neutral Meat (CNM) and Low Carbon Meat (LCM). The bibliographic review used keywords related to integrated livestock systems and the CNM seal in various databases. Searches were also carried out using the names of the main researchers in the area. The information obtained from the publications was organized in a database divided into: types of production systems, spatial and edaphoclimatic characterization of TRUs, pasture and grazing management variables, planted forest and annual crop management variables, and performance of TRUs regarding average neutralization and final CO<sub>2</sub> equivalent (CO<sub>2</sub>eq) balance. The performance of the fourteen forest integration systems, according to the CNM Protocol, for average neutralization, was an average of 1.2 AU/ha.year. Regarding the final balance of CO<sub>2</sub>eq emission/removal, only two systems mitigated all methane produced and still resulted in removal. The other systems presented emission values but mitigated 18 to 90% of animal methane. Mitigating enteric methane is possible if tree density is balanced with wood production and animal stocking rate.*

**Keywords:** Integrated systems, livestock, planted forest, mitigation, carbon, enteric methane.

## 1. INTRODUÇÃO

Existe uma demanda internacional para pressionar pela redução global de gases do efeito estufa ou pela sua neutralização. Desta forma, o Brasil desenvolveu tecnologias capazes de produzir carne com emissão neutra (marca-conceito Carne Carbono Neutro - Alves et al., 2015) ou com baixas emissões de carbono (marca-conceito Carne Baixo Carbono - Almeida et al., 2020), tendo como exemplo sistemas de produção integrados e avaliados em Unidades de Referência Tecnológica (URTs) quanto à neutralização/mitigação de emissões entéricas (Santos et al., 2022; Oliveira et al., 2020, 2022; Silva et al., 2021; Laura et al., 2021; Ferreira et al., 2021; Pulrolnik et al., 2021; Domiciano et al., 2020; Almeida; Alves, 2020; Gontijo Neto et al., 2018; Franchini et al., 2018; Campanha et al., 2017).

No início da década de 2010, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de GEE por meio do Plano Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), tendo a marca-conceito CCN sido desenvolvida pela Embrapa para promover sistemas de pecuária sustentáveis. A implementação



significativa destes sistemas integrados foi incentivada tanto pela perspectiva da diversificação da produção como pela neutralização das emissões de metano bovino por meio de pastagens integradas com lavoura e floresta.

A marca-conceito CCN visa atestar, por meio de um protocolo parametrizável e auditável, que a produção de carne bovina em sistemas de integração do tipo silvipastoril (pecuária-floresta, IPF) ou agrossilvipastoril (lavoura-pecuária-floresta, ILPF) proporciona a neutralização das emissões de metano entérico dos animais em pastejo e conforto térmico para esses animais. Para tanto, é necessário validar o protocolo de produção de carne com neutralização das emissões de metano entérico, que também incorpora diretrizes para o adequado manejo da pastagem e para a produção de carne de qualidade (Protocolo CCN) (Almeida et al., 2020), em propriedades comerciais em diferentes regiões do Brasil, representativas da pecuária.

Os sistemas integrados são conhecidos como sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que realizam cultivos de maneira alternada, combinando atividades agrícolas com culturas anuais e florestais na mesma área, realizando um consórcio com sucessões e rotações de cultura (Balbino et al., 2012). Estudos relacionados aos sistemas ILPF destacaram que sistemas integrados de pasto, lavoura e floresta comprovaram ser uma estratégia eficaz para mitigar as emissões de gases de efeito estufa no Cerrado brasileiro (Carvalho et al., 2014).

De maneira técnica, os ILPF seguem um padrão constante com relação à distribuição espacial de gado, lavoura e floresta. Pode-se pegar como exemplo a raça bovina Nellore, o cultivar *Urochloa* e o gênero do eucalipto, *Eucalyptus*, que necessitam de certo equilíbrio entre os três. Isso se deve à alta taxa de crescimento e qualidade da madeira das árvores do *Eucalyptus spp.*, ao número limitado de outras espécies de árvores e à alta massa de forragem e qualidade do *Urochloa spp.* (Balbino et al., 2011). Existe uma busca por efeitos sinérgicos entre os componentes do que pode ser considerado um agroecossistema, abrangendo a adequação ambiental e a viabilidade econômica, que é possível em locais com a mesma rotação, consórcio ou sucessão, aumentando a fertilidade do solo e a atividade biológica (Salton et al., 2014), além de aumentar a produtividade das pastagens (Oliveira et al., 2020).

No presente estudo, para avaliar o desempenho dos sistemas que adotam o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta sobre a neutralização do metano bovino, foi feito um levantamento bibliográfico narrativo de artigos técnico-científicos sobre onze URTs, descrevendo os seus desempenhos através das premissas do protocolo CCN.



## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Levantamento dos artigos técnico-científicos e organização das informações em base de dados

A busca por artigos técnico-científicos teve início em bancos de acervos online (Clarivate, BDPA, SciELO, Scopus e Elsevier) e dispositivos de pesquisa gerais (Google Acadêmico). Foram obtidas publicações até 2022, utilizando as seguintes palavras-chave: "integração lavoura-pecuária-floresta" ou "ILPF", "integração pecuária-floresta" ou "IPF", "sistemas de integração e balanço de carbono" e "carne carbono neutro". Para melhorar os resultados da busca, foram localizados os principais autores de pesquisa em sistemas integrados, utilizando o protocolo CCN, e seus nomes também foram considerados critérios de busca.

Dos resultados obtidos, após filtragem levando em consideração a presença de resultados sobre a mitigação de metano entérico, onze artigos técnico-científicos foram selecionados. As informações extraídas dos artigos e organizadas em uma base de dados foram: Nome das URTs, Município/Estado, Bioma, Sistemas de produção avaliados, Período da avaliação, Clima local (Köppen), Precipitação, Temperatura, Umidade relativa, altitude, Área total dos sistemas, Tipo de solo/textura, Carbono Orgânico Total, Espécie das pastagens, Manejo do pastejo, Nº de piquetes, Massa de forragem, Tipo de animal, Aptidão dos animais, Nº de animais, Peso vivo inicial, Peso vivo final ou produtividade de leite, Ganho médio diário, Taxa de lotação média, Espécie de floresta plantada, Densidade de árvores, Densidade da madeira, Idade de mensuração das árvores, Altura, DAP, Volume das árvores, Incremento Médio Anual (IMA), Cultura anual, Carbono no stand, Metano entérico, Carbono no fuste (IMA), Metano entérico sistema, Saldo inicial, Potencial de Neutralização, Estimativa de Volume de madeira após 10 anos, IMA médio, VMA (25% do IMA), Carbono no fuste (VMA), Potencial de neutralização médio e CCN (Saldo final de CO<sub>2</sub> eq).

### 2.2 Cálculos do protocolo para validação da marca-conceito CCN

A maior parte dos dados sobre a caracterização e o desempenho das URTs foi obtida a partir dos artigos técnico-científicos selecionados. Contudo, informações ausentes foram calculadas a partir das equações apresentadas a seguir, elencadas no conteúdo teórico das bibliografias consultadas e parte do protocolo CCN (Gontijo Neto et al., 2018).

$$\text{Carbono orgânico total (COT)} = \frac{\text{Matéria orgânica (MO)}}{1,724} \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{Carbono no stand} = \text{Volume da madeira na avaliação final} * \% \text{ de Carbono contido na madeira} \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{CO}_2\text{eq} = \text{Carbono} * 3,6667 \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{Carbono no fust (IMA)} \quad \text{Eq. 4}$$

$$= \text{Incremento médio anual (IMA)} * \text{Densidade da madeira}$$

$$* \% \text{ de Carbono contida na madeira} * 3,6667$$

$$\text{Metano Entérico Sistema} = \text{Taxa de Lotação} * \text{Emissão de CH}_4 \text{ por Unidade Animal (UA)} \quad \text{Eq. 5}$$

$$\text{Saldo Inicial} = \text{Carbono no fust (IMA)} - \text{Metano Entérico do sistema} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{Potencial de neutralização} = \frac{\text{Carbono no fuste (IMA)}}{\text{Emissão de CH}_4 \text{ por UA}} \quad \text{Eq. 7}$$

*Estimativa de volume de madeira das árvores em 10 anos (EVA): os autores usaram a regressão logarítmica a partir de levantamentos de volumes de madeira em datas de avaliação (recomendado para validação do CCN: SIS ILPF-Eucalipto (Oliveira, 2011))*

$$\text{Incremento Médio Anual para 10 anos (IMAm)} = \frac{\text{EVA}}{10} \quad \text{Eq. 8}$$

$$\text{Volume de incremento médio anual (VMA)} = 0,25 * \text{IMAm} \quad \text{Eq. 9}$$

$$\text{Carbono no fuste (VMA)} = \text{VMA} * \text{Densidade da madeira} * \% \text{ de Carbono na madeira} * 3,6667 \quad \text{Eq. 10}$$

$$\text{Potencial de neutralização médio} = \text{Metano Entérico sistema} - \text{Carbono no Fuste (VMA)} \quad \text{Eq. 11}$$

$$\text{CCN (protocolo carne carbon neutro)} = \text{Carbono no fuste} - \text{Metano entérico no sistema} \quad \text{Eq. 12}$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As URTs foram instaladas em diferentes regiões edafoclimáticas, sendo que a maioria dos estudos ocorreu no bioma Cerrado. As URTs Fazenda Mogi Guaçu e Embrapa Agrossilvipastoril foram implementadas no bioma Amazônia, e a Fazenda Maravilha, no bioma Mata Atlântica. Seis URTs avaliaram sistemas integrados com componente arbóreo e outros tipos como pastagem solteira (PS) ou integração lavoura-pecuária (ILP), objetivando comparar as variações de produtividade do capim e ganho de peso dos animais. Pode-se notar diferenças com o uso de ILPF, principalmente quando avaliados dentro do estabelecido pelo CCN, como o aumento de valor nutricional das pastagens e melhor conforto térmico para o gado (Carnevalli et al., 2019), levando com isso a uma maior agregação de valor e renda para as áreas de pastagem (Stape et al., 2010).

O clima dos municípios das URTs se dividiu em tropical e temperado, sendo que em oito fazendas o verão é seco. As precipitações e temperaturas médias não registraram valores abaixo de 1000 mm e 20°C, respectivamente, ao passo que a umidade relativa não apresentou valores abaixo de 45%. Quanto aos tipos de solo, a maioria das URTs apresentou Latossolos, tendo sido avaliado um Neossolo (Fazenda Boa Aguada, Ribas do Rio Pardo/MS) e um Argissolo (Fazenda Santa Luzia, Jaborandi/BA) (Tabela 1).

A maior parte dos sistemas apresentou como pastagem a forrageira *Urochloa* ou *Brachiaria*, como é mais conhecida, sendo que apenas as URTs Embrapa Cerrado e Fazenda

Mogi Guaçu cultivaram o capim *Panicum*. Nas URTs onde houve a comparação de sistemas integrados com arbóreas (ILP) e sistemas a pleno sol (PS), as pastagens a pleno sol apresentaram maior produtividade, com diferenças de 23 a 52% de incremento. Os valores de ganho de peso médio diário variaram de 0,44 a 0,87 kg/animal.dia. A maior parte dos sistemas que avaliaram animais realizou a engorda de gado Nellore. As taxas de lotação foram bem variadas, com um intervalo de 0,5 (Fazenda Lagoa dos Currais) a 3,4 UA/ha (Fazenda Canchim) (Tabela 2).

O componente arbóreo utilizado em todos os sistemas integrados foi o eucalipto, podendo ser híbrido ou clone. O espaçamento entre aléias variou de 11 a 37 metros, enquanto o espaçamento entre árvores variou de 1,5 a 4 metros. A densidade final de árvores variou de 89 a 441 indivíduos por hectare, sendo que as URTs Embrapa Cerrados, Embrapa Gado de Corte e Embrapa Agrossilvipastoril realizaram o desbaste de parte das árvores ao longo das avaliações, aumentando as distâncias entre as aléias e diminuindo o sombreamento nas pastagens.

Os sistemas integrados mais recentes, com cerca de 2,3 a 3,2 anos de desenvolvimento do componente arbóreo, ocorreram nas URTs Riacho Grande, Boa Aguada e Santa Luzia, variando o volume final de madeira de 10 a 36 m<sup>3</sup>/ha, com IMA variando de 4,4 a 13,5 m<sup>3</sup>/ha/ano. Os sistemas integrados intermediários avaliados, com cerca de 4,5 a 6,6 anos, ocorreram nas URTs Lagoa dos Currais, Milho e Sorgo, Cerrados e Maravilha, variando o volume final de madeira de 59 a 96 m<sup>3</sup>/ha, com IMA variando de 16,6 a 33,5 m<sup>3</sup>/ha/ano. Os sistemas integrados mais antigos avaliados, com cerca de 8 a 12 anos de desenvolvimento do componente arbóreo, ocorreram nas URTs Agrosilvopastoril, Canchim, Mogi Guaçu e Gado de Corte, variando o volume final de madeira de 65 a 190 m<sup>3</sup>/ha, com IMA variando de 8,4 a 28,6 m<sup>3</sup>/ha/ano (Tabela 3). Não é possível observar uma correlação direta entre a densidade de árvores e o IMA, pois o tempo de avaliação e as condições de manejo e edafoclimáticas variam entre os sistemas.

A avaliação do saldo inicial, levando em consideração apenas o IMA observado no período de avaliação dos sistemas integrados, resultou em valores de remoção entre 1 e 26,9 Mg CO<sub>2</sub>eq/ha.ano e valores de emissão entre 0,8 e 2,2 Mg CO<sub>2</sub>eq/ha.ano. Nessa primeira avaliação, o poder de neutralização variou de 1,5 a 16,7 UA/ha. Quando o protocolo para validação da marca-conceito CCN é aplicado, através da estimativa ou dados oferecidos pelas publicações revisadas sobre o volume máximo de madeira em 10/12 anos, o potencial de neutralização varia de 0,4 a 2,7 UA/ha e o saldo final varia com a remoção de 0,2 a 0,5 Mg CO<sub>2</sub>eq/ha.ano e emissões de 0,6 a 6,1 Mg CO<sub>2</sub>eq/ha.ano. No caso dos sistemas com saldo de emissão, as mitigações do metano entérico variam de 18 a 90% (Tabela 4), considerando apenas o CO<sub>2</sub>eq estocado na madeira para serraria. Estudos relacionados ao estoque de carbono no solo em sistemas ILPF apresentam uma taxa de acúmulo média de carbono de 3,6 Mg de CO<sub>2</sub>eq/ano (Oliveira et al., 2024), valor que pode compensar emissões anuais e não foi contabilizado nos sistemas apresentados nesta revisão.





**Tabela 1.** Unidades de Referência Tecnológica avaliadas, localização, sistemas de produção e características edafoclimáticas

URT	Município/Estado	Bioma	Sistema de produção	Período da avaliação	Clima local (Köppen)	P(mm)	T(°C)	UR (%)	Altitude (m)	Área total(ha)	Tipo de solo/textura	COT (g/kg) (20 cm)
1 Fazenda Riacho Grande	Bom Jesus do Tocantins/PA	Cerrado	IPF	2019-2021	Aw/As	1775	26,3	78	175		Latossolo amarelo distrófico	
2 Fazenda Mogi Guaçu	Paragominas/PA	Amazônia	IPF	2018-2019	Aw	1800	26,3	81	120	20,0	Latossolo amarelo distrófico típico, muito argilosa	13,8
3 Fazenda Santa Luzia	Jaborandi/BA	Cerrado	ILPF	2021-2022	Aw	1753	24,5	75	448	15,0	Argissolo Vermelho amarelo distrófico	11,9
4 Fazenda Lagoa dos Currais	Curvelo/MG	Cerrado	PS IPF	2017-2018	Cwa	1042	22,6	45	672	50,1 102,3	Latossolo Vermelho Amarelo distroférrico, argilosa	16,3
5 Embrapa Milho e Sorgo	Sete Lagoas/MG	Cerrado	ILPF	2011-2016	Cwa	1335	21,1	66	708		Latossolo vermelho distrófico típico, argilosa	19,6
6 Embrapa Cerrados	Planaltina/DF	Cerrado	ILP ILPF	2017-2019	Aw	1202	28,1	64	1175	8,0	Latossolo vermelho-amarelo, argilosa	24,8 27,8
7 Embrapa Gado de Corte	Campo Grande/MT	Cerrado	ILP ILPF ILPF	2012-2016 2017-2022	Am	1560	25,0	67	530	6,0	Latossolo Vermelho distrófico, argilosa	20,3 17,9 14,3
8 Embrapa Agrossilvi pastoril	Sinop/MT	Amazônia	ILP IPF ILPF	2015-2016	Am	1300	30,0	73	384	8,0	Latossolo vermelho, argilosa	20,0 18,0 18,9
9 Fazenda Boa Aguada	Ribas do Rio Pardo/MS	Cerrado	PS IPF IPF	2015-2018	Cfa/Aw	1425	24,1	49	369	16,4	Neossolo quartzarenico	6,6
10 Fazenda Canchim	São Carlos/SP	Cerrado	PS IPF	2017-2018	Cwa	1350	21,5	80	760	2,0	Latossolo Vermelho distrófico	15,5 19,0
11 Fazenda Maravilha	Londrina/PR	Mata Atlântica	ILP ILPF	2010-2018	Cfa	1723	20,0	74	481	4,4	Latossolo vermelho distroférrico, muito argilosa	

IPF: integração pecuária-floresta; ILPF: integração lavoura-pecuária-floresta; PS: pastagem solteira; ILP: integração lavoura-pecuária; P: Precipitação acumulada anual; T: temperatura média anual; UR: umidade relativa média anual; COT: carbono orgânico total



**Tabela 2.** Caracterização das URTs com relação às variáveis de manejo da pastagem e do pastejo.

URT	Sistema de produção	Espécie das pastagens	Manejo do pastejo	Nº de piquetes	Massa de forragem (Kg MS/ha)	Tipo de animal	Aptidão dos animais	Nº de animais	Peso vivo inicial(kg)	Peso vivo final (Kg) * produtividade de leite (kg/ha/ano)	Ganho médio diário (kg/animal dia <sup>-1</sup> )	Taxa de lotação média (UA/ha)
1	IPF	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandú										
2	IPF	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Rotativo	4		Nellore	Corte		225,5	392,4	0,44	1,4
3	ILPF	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	Rotativo	6		Nellore	Corte	45	220,0	367,0	0,64	2,0
4	PS	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandú		2	2749	Guzerá	Corte	27	223,5	537,8	0,86	0,5
	IPF			3	1329			52	263,1	580,6	0,87	0,5
5	ILPF	<i>Brachiaria</i> sp. (capim-braquiária)	Rotativo		1869							
6	ILP	<i>Panicum maximum</i> cv. Mombaça	Rotativo	12	5300	Gir e Girolando	Leite	48+71		8989*		2,5
	ILPF			12	4100					8513*		2,5
	ILP				4267						0,52	3,4
7	ILPF	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã			3618					471,0	0,53	3,0
	ILPF				2613						0,52	2,1
8	ILP	<i>Urochloa brizantha</i> cv. Marandú	Rotativo	4	4100						0,67	2,7
	IPF			4	2830	Nellore	Corte		335,0		0,55	3,0
	ILPF			4	3780						0,75	3,3
9	PS	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	Contínuo	4	2859	Nellore	Corte					1,3
	IPF			4	2859							1,3
	IPF			4	2859							1,3
10	PS	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	"put and take"	4	3419	Nellore;	Corte	16	344,5	613,9	0,68	3,4
	IPF			4	1971	Canchim			346,7	599,6	0,68	3,0
11	ILP	<i>Urochloa brizantha</i> cv. BRS Piatã	Contínuo									
	ILPF											

IPF: integração pecuária-floresta; ILPF: integração lavoura-pecuária-floresta; PS: pastagem solteira; ILP: integração lavoura-pecuária.





**Tabela 3.** Caracterização das URTs com relação às variáveis de manejo da floresta plantada e culturas anuais.

URT	Sistema de produção	Espécie de Floresta plantada	Espaçamento(m) <sup>1</sup>	Densidade de árvores (árvores/ha) <sup>1</sup>	Densidade da madeira (Mg/m³)	Idade de mensuração das árvores (meses) <sup>1</sup>	Altura (m) <sup>1</sup>	DAP (cm) <sup>1</sup>	Volume das árvores (m³/ha) <sup>1</sup>	IMA (m³/ha/ano) <sup>1</sup>	Cultura anual
1	IPF	E. brassiana x E. grandis VD469	25x3x3	244	0,35	12/27	4/10,1	3,6/10,5	0,5/9,9	0,5/4,4	
2	IPF	E. urograndis Super Clone	11x1,75x3	429	0,35	80/100	21,4/24,7	20,4/22,6	134,3/190,4	20,1/22,8	
3	ILPF	E. clones AEC144 e AEC 2084	25x2	186/129	0,35	30/38	10,1/11,4	12,4/15,2	9,2/15,4	3,4/4,6	
4	PS IPF	E. I144	15x3/12x3	271,6	0,35	42/54		14,4/17,1	32,3/58,7	26,3	
5	ILPF	E. grandis (Hill) ex Maiden x E. urophylla S.T Blake linhagens GG100	15x2	333	0,45	24/60	10,5/22	10,3/17,9	15,8/82,8	16,5	Milho
6	ILP ILPF	E. urophylla x E. grandis clone GG100 e E. urophylla x E. camaldulensis	25x1,5/25x3	267/130	0,35	36/72	15,9/27,8	16,9/26,8	44,7/102	19,8	Sorgo e soja
7	ILP ILPF ILPF	E. urograndis clone H-13	22x2/22x4 14x2/28x4	227/113 357/89	0,38 0,38	86/144 86/144	26,6/32,7 26,6/33,4	24,2/36,1 24,2/34,6	97,6/117,4 153,5/86,3	23,5 17,3	Soja e milho
8	ILP IPF ILPF	E. urograndis clone H-13	30x3x3,5/37x3 30x3x3,5/37x3	270/135 270/ 90	0,35 0,35	48/96 48/96	16/24 16/24	22/26 22/26	23/89,1 23/65,4	9,1 8,3	Soja e milho
9	PS IPF IPF	E. grandis x E. urophylla, clone I144	28x3 28x3x2	178 441	0,35 0,35	30 30	15,3 16,1	14,1 12,4	17,3 36,5	6,4 13,5	
10	PS IPF	E. urograndis clone GG100	15x4	165	0,49	78/96	28,9/30,5	27,6/29,9	124,4/153	28,6	Milho
11	ILP ILPF	E. grandis clone GPC 23	15 a 35x3	190	0,35	22/43/56/79	8,9/22,4/29,1/30,7	11/27/30/35	6/81/129/196	33,5	Milho, aveia preta, soja e trigo

DAP: diâmetro altura peito; IMA: incremento médio anual; 1: dado inicial / dado final



**Tabela 4.** Desempenho das URTs sobre a mitigação de metano entérico e saldo de CO<sub>2</sub>equivalente (Protocolo Carne Carbono Neutro).

URT	SP	C no stand <sup>1</sup> (Mg/ha)	Metano entérico (Mg CO <sub>2</sub> eq./UA.ano)	C no fuste <sup>2</sup> (IMA) (Mg CO <sub>2</sub> eq./ha.ano)	Metano entérico sistema	Saldo inicial	Potencial de Neutralização (UA/ha)	EVA <sup>3</sup>	IMA <sub>médio</sub> (m <sup>3</sup> /ha) <sup>3</sup>	VMA <sup>4</sup>	C no Fuste (VMA) (MgCO <sub>2</sub> eq./ha.ano) <sup>5</sup>	Potencial de neutralização médio (UA/ha)	Saldo final (CCN) (Mg CO <sub>2</sub> eq./ha.ano) <sup>6</sup>	Literatura
1	IPF	1,7	1,9	7,8		7,8	4,2					2,1		Silva et. al., 2021
2	IPF	40,8	1,9	14,4	2,8	11,6	7,6	186,0	18,6	4,7	2,9	1,6	0,2	Silva et. al., 2021
3	ILPF	2,6	1,8	2,9	3,7	-0,8	1,5	43,7*	4,4	1,1	0,7	0,4	-3,0	Santos et. al., 2022
4	PS				0,8	-0,8							-0,8	Gontijo Neto et al., 2019
	IPF	10,0	1,8	16,4	0,9	15,5	8,9	84,1	8,4	2,1	1,3	0,7	0,5	
5	ILPF	14,9	1,9	10,9		10,9	5,8	82,8	8,3	2,1	1,7	0,9		Laura et al., 2021; Campanha et al., 2017
6	ILP				4,7	-4,7							-4,7	Ferreira et al., 2021; Pulrolnik et al., 2021
	ILPF	21,2	1,9	31,5	4,6	26,9	16,7	144,4*	14,4	3,6	2,2+39,0**	1,2	-2,4	
7	ILP		1,8		7,4	-7,4							-7,4	Laura et al., 2021; Alves et al., 2015
	ILPF	19,6	1,8	14,7	6,5	8,2	8,2	117,7	11,8	2,9	1,8+30,6**	1,0	-4,7	
	ILPF	14,8	1,8	10,8	4,7	6,1	6,0	86,3	8,6	2,2	1,8+40,6**	1,0	-2,9	
8	ILP		1,8		5,9	-5,9							-5,9	Domiciano et al., 2020
	IPF	14,0	1,8	5,7	6,7	-1,0	3,1	91,0	9,1	2,3	1,4+18,4**	0,8	-5,3	
	ILPF	10,3	1,8	5,2	7,4	-2,2	2,9	83,5	8,4	2,1	1,3+18,4**	0,7	-6,1	
9	PS													Almeida et al., 2020
	IPF	2,7	1,8	4,0	2,9	1,0	2,2	64,0*	6,4	1,6	1,0	0,6	-1,9	
	IPF	5,7	1,8	8,4	2,9	5,5	4,7	135,0*	13,5	3,4	2,1	1,2	-0,8	
10	PS		1,8		7,5	-7,5							-7,5	Oliveira et al., 2020 e 2022
	IPF	24,1	2,2	24,7	6,6	18,0	11,1	279,1*	27,9	7,0	6,0	2,7	-0,6	
11	ILP													Franchini et al., 2018
	ILPF	30,9	1,8	20,9		20,9	11,6	244,3	24,4	6,1	3,8	2,1		

<sup>1</sup> Estoque de carbono no stand (ha) medido na última data de avaliação; <sup>2</sup>IMA: incremento médio de volume anual; <sup>3</sup>EVA: estimativa do volume das árvores em 10 anos \* calculado pelos autores desta publicação através de regressão logarítmica; <sup>4</sup>VMA: volume de incremento médio anual de acordo com o Protocolo CCN= 25% do volume anual apto para ser serrado em 10 anos; <sup>5</sup>: C estocado no fuste no volume de madeira de 25%\*\*incluindo o volume de desbaste realizado no experimento; <sup>6</sup> CCN: saldo de CO<sub>2</sub>eq., sendo positivo=remoção e negativo=emissão.



#### 4. CONCLUSÃO

O desempenho dos quatorze sistemas de integração com floresta, de acordo com o Protocolo Carne Carbono Neutro, para neutralização média de unidades animais, foi de 1,2 UA/ha ano. Este valor é superior à média nacional de 1,0 UA/ha ano.

Com relação ao saldo final de emissão/remoção de CO<sub>2</sub>eq., apenas dois sistemas mitigaram todo metano produzido e ainda resultaram em remoção. Os demais sistemas apresentaram valores de emissão, tendo, contudo, mitigado de 18 a 90% do metano emitido. Vale ressaltar que esta revisão não contemplou o universo amostral total e, portanto, esses valores podem variar.

A mitigação do metano entérico é uma realidade em sistemas integrados, desde que equilibrada a densidade das árvores com a produção de madeira e a taxa de lotação animal.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), onde a maioria das atividades foi realizada e desenvolvida.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V. **Diretrizes técnicas para produção de carne com baixa emissão decarbono certificada em pastagens tropicais: carne baixo carbono (CBC)**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2020. 36 p.
- ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A. (ed.). **Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Brasília, DF: Embrapa Gado de Corte, 2015. 32 p.
- BALBINO, L. C.; BARCELLOS, A. O.; STONE, L.F. **Marco referencial: integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 127 p.
- BALBINO, L. C. et al. Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). **Informações Agronômicas**, v.19, n. 138 p.1-18, jun, 2012.
- CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. C. da; GONTIJO NETO, M. M. **Crescimento, estoque de carbono e agregação de valor em árvores de eucalipto em um sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Cerrado de Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2017, 26 p.
- CARVALHO J. L. N. et al. Crop-pasture rotation: a strategy to reduce soil greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v. 183, n. 1, p. 167-175, Jan. 2014.
- CARNEVALLI, R. A. et al. Princípios da pecuária leiteira em sistemas de ILPF. In: BUNGENSTAB, D. J. et al. (ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 16. p. 226-242.
- DOMICIANO, L. F. et al. Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 5, p. 1839-1849, May 2020.
- FERREIRA, I. C. et al. **Produção de leite em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Bioma Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021, 27 p.



- FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H. **Produção de grãos, pastagem e madeira em sistema ILPF no norte do Paraná**. Londrina: Embrapa Sojas, 2018, 44 p.
- GONTIJO NETO, M.M. et al. **Mitigação de gases de efeito estufa em sistema de integração pecuária-floresta e potencial de produção de carne carbono neutro**: Fazenda Lagoa dos Currais, Curvelo-MG. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018, 19 p.
- LAURA, V. A. et al. O eucalipto em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Cerrado. In: Oliveira, E. B.; Pinto Junior, J. E. (ed.) **O eucalipto e a Embrapa**: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento. Brasília: Embrapa. 2021. p. 1065-1086.
- OLIVEIRA, E. B. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2011. 68 p.
- OLIVEIRA, P. P. A. et al. Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome). **Animal**, v. 14, n. 3, p. 427-437, 2020.
- OLIVEIRA, P. P. A. et al. **Potencial de produção de carne carbono neutro por bovinos machos da raça nelore em sistema silvipastoril com capim-piatã e eucalipto**: Embrapa Pecuária Sudeste - São Carlos-SP. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2022, 53 p.
- OLIVEIRA, P. P. A., et al. Potential of integrated trees-pasture-based systems for GHG emission mitigation and improving soil carbon dynamics in the Atlantic forest biome, Southeastern of Brazil. **European Journal of Agronomy**, v. 158, p. 127219, 2024.
- PULROLNIK, K. et al. **Estoques de carbono e nitrogênio no solo e biomassa florestal em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrado, 2021, 25 p.
- SALTON, J. et al. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 190, n. 1, p. 70-79, Jun. 2014.
- SANTOS, F. C. et al. **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta como alternativa de intensificação sustentável para solos arenosos do Oeste da Bahia**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022, 45 p.
- SILVA, A. R. et al. Estoque de carbono e mitigação de metano produzido por bovinos em sistema integração pecuária-floresta (IPF) com eucalipto no Sudeste Paraense. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 39997-40016, Apr/Mai 2021.
- STAPE, J. L. et al. The Brazil eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1684-1694, 2010.