



O POTENCIAL DE SEQÜESTRO DE CARBONO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO INTEGRADOS: INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (iLPP)

**Luiz Fernando Carvalho Leite¹, Vanderley Porfirio-da-Silva²,
Beáta Eموke Madari³, Pedro Luiz Oliveira de Almeida Machado³,
Alexandre de Oliveira Barcellos⁴, Luiz Carlos Balbino⁵**

Palavras chave: Plantio direto, modelagem, emissão de metano, Century, CQSTER, RothC.

A integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPP) é uma estratégia de produção sustentável, que integra atividades agrícolas, pecuárias e florestais, realizadas na mesma área, em cultivo consorciado, em sucessão ou rotacionado, e busca efeitos sinérgicos entre os componentes do agroecossistema, contemplando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica (Balbino & Barcellos, 2010).

A iLPP, que tem como grande objetivo a mudança do sistema de uso da terra, fundamenta-se na integração dos componentes do sistema produtivo, para atingir patamares cada vez mais elevados de qualidade do produto, qualidade ambiental e competitividade. A estratégia de iLPP contempla quatro modalidades de sistemas, assim caracterizados: (i) integração Lavoura-Pecuária ou Agropastoril: Sistema que integra os componentes: lavoura e pecuária, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área, em um mesmo ano agrícola ou por múltiplos anos; (ii) integração Lavoura-Pecuária-Floresta ou Agrossilvipastoril: Sistema que integra os componentes: lavoura, pecuária e floresta, em rotação, consórcio ou sucessão, na mesma área. O componente lavoura pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos durante o desenvolvimento do sistema; (iii) integração Pecuária-Floresta ou Silvipastoril: Sistema que integra os componentes: pecuária e floresta em consórcio e (iv) integração Lavoura-Floresta ou Silviagrícola: Sistema que integra os componentes: floresta e lavoura, pela consorciação de espécies arbóreas com cultivos agrícolas (anuais ou perenes). O componente lavoura pode ser utilizado na fase inicial de implantação do componente florestal ou em ciclos durante o desenvolvimento do sistema. Os sistemas apresentados assemelham-se à classificação de sistemas agroflorestais: silviagrícola, silvipastoril e agrossilvipastoril. Contudo, a

¹Eng. Agr. Dr. Pesquisador Embrapa Meio Norte

²Eng. Agr. Pesquisador Embrapa Florestas - Doutorando Agronomia/UFPR

³Eng. Agr. Dr. Pesquisador (a) Embrapa Arroz e Feijão

⁴Eng. Agr. Dr. Pesquisador Embrapa/Sec.Executiva do PAC

⁵Eng. Agr. Dr. Pesquisador Embrapa Transferência de Tecnologias



iLRF é uma estratégia que apresenta classificação mais abrangente, incluindo a integração lavoura-pecuária (Balbino e Barcellos, 2010).

Os sistemas de produção animal convivem permanentemente com o ônus dos impactos gerados pela atividade e sua relação com o aumento na emissão de gases de efeito estufa (GEE). As mudanças no uso da terra, geradas pela expansão da pecuária e implantação de novas pastagens, a produção de metano de origem metabólica e a emissão de óxido nítrico pelo uso de fertilizantes nitrogenados são consideradas as principais fontes das emissões. A dimensão do rebanho brasileiro associado à extensa área de pastagens colocam em evidência a importância e os impactos dessa atividade como fonte de GEE ou como dreno, a depender do manejo imposto (Soussana et al., 2007).

As gramíneas forrageiras em condições adequadas de produção de massa vegetal são capazes de acumular significativas quantidades de carbono fixando-o no solo na forma orgânica, tanto em sistemas de pastagens puras (Humphreys, 1994; Cerri, et al., 2007) como em sistemas rotacionados de grão com pastagens (Sousa, 1997; Fornara, et al., 2008 Salton et al., 2008). A capacidade de acúmulo em sistemas exclusivos de gramíneas é limitada pela deficiência de nutrientes no solo e, especialmente, pela baixa disponibilidade de nitrogênio em função da baixa taxa de mineralização.

O valor nutricional da forragem tem reflexos diretos sobre a produtividade animal. As leguminosas forrageiras, participando da dieta animal, contribuem para incrementar o ganho em peso bem como aportam maior quantidade de nutrientes à dieta e propiciam melhoria de parâmetros ruminais podendo reduzir a metanogênese (Montenegro, et al., 2000). Compostos associados às leguminosas forrageiras, como os taninos, podem ter ação benéfica na produção de metano. Espécies como *Leucaena*, cujas concentrações de taninos condensados são elevadas, propiciaram a redução na emissão de metano (Possenti, 2006).

Pereira (2002), comparando amostras de gramíneas e leguminosas avaliadas ao longo da estação de crescimento, observou taxas de redução semanais da DIVMS e proteína da forragem diferenciada entre os materiais. As gramíneas apresentaram decréscimos mais acentuados (redução de 1,20%/semana DIVMS e 0,83%/semana de proteína bruta-PB) que a leguminosa (redução de 0,72%/semana da DIVMS e 0,58%/semana de PB), indicando perdas do valor nutritivo da forragem que poderiam deprimir de forma mais acentuada, quando em consumo exclusivo da gramínea, o desempenho animal. Depreende-se que a participação da leguminosa na dieta animal concorreria para uma maior estabilidade do valor nutricional e, conseqüentemente, amenizaria os efeitos do decréscimo do valor nutricional da forragem.

O baixo valor dos coeficientes técnicos dos rebanhos bovinos, como taxa de natalidade, reconcepção e desmama, estão associados ao seu manejo reprodutivo, onde a oferta qualitativa e quantitativa da forragem exerce forte influência.



O ambiente onde se desenvolve a atividade de cria guarda uma estrita relação com pastagens degradadas ou de baixa capacidade produtiva. Essa constatação deve-se especialmente ao menor aporte tecnológico do segmento, associado à menor remuneração e, por conseqüência, uma menor capacidade de investimento. Nesse contexto a participação de leguminosas forrageiras pode desempenhar importante papel no incremento dos índices de fertilidade do rebanho com custos reduzidos e produzindo outros efeitos ambientais relevantes.

A comparação de diferentes valores de DIVMS na dieta influenciando ganhos em peso e taxa de nascimento de bovinos, permitiu estimar valores de reduções em mais de 46% na emissão de metano (Bárbaro et al, 2008) quando os valores de DIVMS eram elevados de 55% para 65% e os ganhos por animal variaram, respectivamente, de 400 para 800 g/animal por dia e a taxa de nascimento elevada de 50% para 70%. Maiores reduções nas emissões poderiam ser obtidas com dietas onde a DIVMS fosse superior a 70%, ou seja, um valor que dificilmente se obteria em pastagens tropicais.

Os impactos na melhoria no manejo alimentar de sistemas de produção de gado de corte, na fase de cria em regime de pastagens, foram estudados por Barioni et. al, 2007. Simulações considerando crescimento linear, por duas décadas, dos coeficientes técnicos da pecuária brasileira, em reposta a elevação da taxa de nascimento de 55% para 68%, redução na idade de abate de 36 meses para 28 meses e redução na taxa de mortalidade de 7% para 4,5%. Nesse novo cenário seria possível manter praticamente estáveis as emissões de metano ao mesmo tempo em que a produção de carne seria aumentada em mais de 25% (Figura 1).

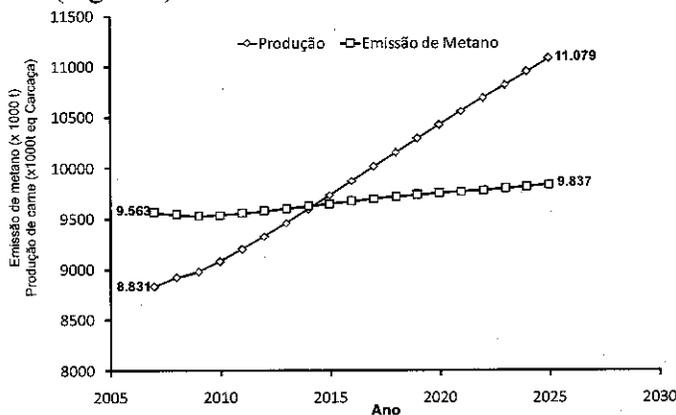


Figura 1. Simulação dos impactos do crescimento linear de coeficientes técnicos da pecuária de corte brasileira e seus impactos na produção de carne e emissão de metano (Barioni et. al., 2007)



Estudos relacionados ao papel das leguminosas como componente no processo de mitigação dos GEE, de forma direta e indireta, ainda são pequenos, especialmente em ambientes tropicais. Os benefícios das leguminosas no incremento na produção primária de forragem, no desempenho animal e nos impactos sobre as propriedades químicas e biológicas do solo são verdades conhecidas. Portanto, aprofundar os estudos dos impactos das leguminosas, dentro de uma visão mais sistêmica, não se trata de alimentar uma lenda ou um mito, mas sim disponibilizar e validar tecnologias de alto valor agregado.

Com a crescente restrição para acessar madeiras de florestas naturais, as áreas de floresta plantada existentes passarão a sofrer pressões de mercado, especialmente de preços que tenderão a aumentar, e mais madeira juvenil será processada para painéis reconstituídos que vêm substituindo a madeira serrada na fabricação de móveis. Com isso, pouca quantidade de árvores serão conduzidas para a indústria madeireira, o que provocará também aumento de preços, principalmente para produto de maior valor agregado (PMVA). Tanto móveis (de painéis reconstituídos como de madeira serrada), como PMVAs são produtos essencialmente imobilizadores de carbono. Os sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta poderão corroborar para menor pressão e regularização de oferta de produtos madeiráveis ao mesmo tempo em que promove a adequação ambiental da pecuária nacional ao constituir sistemas de produção capazes de neutralizar a emissão de metano pelo rebanho de ruminantes. O potencial de mitigação de GEEs em sistemas intensivos com árvores de rápido crescimento (>2,2 cm de diâmetro ao ano) no Brasil é de, aproximadamente, 5,0 Mg de Ceq. ha⁻¹. ano⁻¹ (média para 11 anos) fixado na madeira (tronco) das árvores, conforme dados de Tsukamoto Filho (2003). Isto equivale a neutralização por ano da emissão de 13 bois adultos (450 kg PV). A Figura 2 ilustra a evolução de um sistema iLPF intensivo com 250 árvores por hectare no bioma Cerrado. Os sistemas iLPF que contemplam os componentes madeireiro e pecuário, além da produção de madeiras e de ser uma tecnologia para mitigar emissões de GEEs, atende a necessidade de bem-estar animal ao proporcionar proteção contra estresse térmico, promove a biodiversidade em sistemas produtivos e, incrementa o uso eficiente da terra com agregação de valor e renda para as áreas de pastagens.

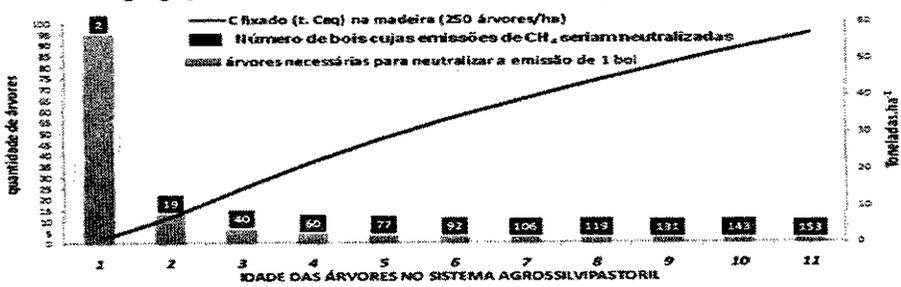


Figura 2. Neutralização da emissão de CH₄ pelo gado em um sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta com 250 árvores por hectare.



Estimativas de estoques ou de seqüestro de carbono em solos sob Integração Lavoura-Pecuária (ILP) também podem ser realizadas por meio de simuladores computacionais, considerados mecanísticos, como CENTURY (Parton et al., 1987), RothC (Coleman e Jenkinson, 1996) ou CQESTR (Rickman et al. 2001). Neste sentido, Leite et al., (2008), utilizaram CQESTR para estimar estoques de carbono orgânico do solo (COS) em experimento de longa duração com plantio direto e ILP, no município de Santo Antônio de Goiás, GO. Houve diminuição dos estoques de COS após a remoção da floresta nativa. Esta tendência permaneceu mesmo após a adoção dos sistemas de manejo. Em 2000, os estoques de COS variaram de 34 Mg ha^{-1} , no solo sob plantio direto com rotação soja-milho (PD-SM) e plantio convencional com arroz (PC-A), a 36 Mg ha^{-1} , no solo sob ILP com rotação a cada 4 e 2 anos (ILP4 e ILP2), o que significou redução de 26 e 22 %, respectivamente, em relação ao estoque original (Figura 3). No entanto, a partir de 2007, os sistemas com integração lavoura-pecuária em plantio direto passaram a aumentar os estoques de COS e, em 2040, alcançaram 49 (ILP4) e 57 Mg ha^{-1} (ILP2). Estes resultados realçam a importância do SILP associado ao plantio direto em melhorar a qualidade do solo e contribuir para o seqüestro de carbono. Por outro lado, o ILP3, com arroz na rotação em preparo convencional e os sistemas apenas com rotação de culturas, mantiveram a tendência de diminuição dos estoques de COS. Em 2040, os valores estimados foram de 26, 22 e 16 Mg ha^{-1} para ILP3, PD-SM e PC-A, respectivamente. Nestes sistemas, a maior oxidação do carbono orgânico provocada pelo excesso de preparo do solo e o menor aporte de biomassa, pressupostos considerados no modelo, contribuíram para estes decréscimos.

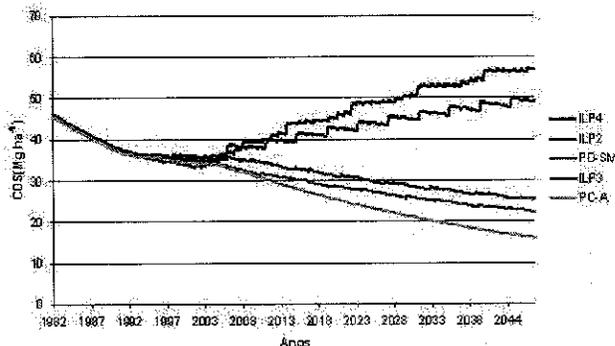


Figura 3. Dinâmica do carbono orgânico do solo (COS) (0-20 cm) simulado pelo simulador CQESTR sob diferentes sistemas de manejo: Integração Lavoura-Pecuária com rotação (soja-milho/braquiária) a cada 4 anos (ILP4); Integração Lavoura-Pecuária com rotação (soja-milho/braquiária) a cada 2 anos (ILP2); Plantio direto com rotação soja-milho (PD-SM); Integração Lavoura-Pecuária com rotação (arroz/braquiária) a cada 3 anos (ILP3) em plantio convencional; Plantio convencional sob cultivo do arroz (PC-A).



Adicionalmente, observou-se que a ILP com rotação a cada 4 e 2 anos, seqüestraram 0,4 e 0,34 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente. Houve também seqüestro com o ILP 3 anos, embora de menor magnitude (0,12 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Os demais sistemas, em que não há a presença da Integração Lavoura-Pecuária, emitiram carbono para atmosfera (0,09 e 0,30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Maiores valores de seqüestro de C, com base nos valores medidos, também foram observados nos sistemas ILP4 e ILP2 (Tabela 1).

Tabela 1. Seqüestro ou Emissão de C estimado pelo simulador CQESTR e por meio dos valores medidos em um Latossolo Vermelho-Escuro (LVE) em Santo Antônio de Goiás-GO sob diferentes sistemas de manejo.

Sistema de Preparo	Estoque de C			Taxa ⁽¹⁾	Seqüestro (+)/ Emissão (-) de C
	Inicial	Final	Variação Δ		
	Mg ha ⁻¹			Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹	
CQESTR					
ILP 4 anos	36,6	39,0	2,42	0,16	0,40
PD SM	36,6	32,5	-4,04	-0,27	-0,09
ILP2 anos	36,6	38,1	1,54	0,10	0,34
ILP 3 anos	36,6	34,8	-1,79	-0,12	0,12
PC-A	36,6	32,1	-4,44	-0,30	-0,30
Medido ⁽²⁾					
ILP 4 anos	28,0	35,9	7,9	0,61	+0,88
ILP2 anos	28,0	35,3	7,3	0,56	+0,84
ILP 3 anos	28,0	31,8	3,8	0,29	+0,57
PC-A	28,0	32,0	4,0	0,31	+0,26

Integração Lavoura-Pecuária com rotação (soja-milho-arroz sequeiro-feijão/braquiária) a cada 4 anos (ILP4); Integração Lavoura-Pecuária com rotação (soja-milho-arroz sequeiro-feijão/braquiária) a cada 2 anos (ILP2); Plantio direto com rotação soja-milho-arroz sequeiro-feijão (PD-SM); Integração Lavoura-Pecuária com rotação (soja-milho-arroz sequeiro-feijão/braquiária) a cada 3 anos (ILP3); Plantio convencional sob cultivo do arroz (PC-A). ⁽¹⁾ ⁽²⁾ Valores medidos em 2005, exceto para o sistema Soja-Milho PD.

Por fim, os diferentes sistemas de ILPF, podem ser constituídos de grande diversidade de plantas de lavouras e de pastagens, e de arranjos e densidades arbóreas; o sequestro, fluxo e estoque de carbono dá-se de formas diferentes nos diferentes agroecossistemas, ecorregiões e formas de manejo dos componentes dos sistemas. O conteúdo de carbono e a taxa anual de seqüestro/imobilização de carbono nesses sistemas pode variar grandemente. Embora



existam evidências científicas e exemplos de aplicação, a diversidade de condição regional do país evidencia a necessidade de estudos regionalizados sobre a integração lavoura-pecuária-floresta para, assim, diminuir o grau de incertezas na estimativa do potencial de seqüestro de carbono na fitomassa e no solo nos diferentes sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BALBINO, L.C.; BARCELLOS A.O. (Coord.). Marco referencial em integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). Brasília: Embrapa, 2010. No prelo.
- BANDY, D.E. ICRAF's strategies to promote agroforestry systems. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, Porto Velho, 1994. Anais... Colombo: Embrapa (Centro Nacional de Pesquisas de Florestas/Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia), 1994. v.1, p.15-31. Edited by Montoya, L.J. and Medrado, M.
- BÁRBARO, N.O.; GRATTON, R.; RUBIO, R. Mitigation of CHG emissions from agriculture production systems. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. http://regserver.unfccc.int/seors/attachments/file_storage/53350n4ubdl7ltk.ppt
- BARIONI, L. G.; LIMA, M. A. de; ZEN, S. de; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FERREIRA, A. C. A baseline projection of methane emissions by the Brazilian beef sector: preliminary results. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 2007, Christchurch, New Zealand. Proceedings... Christchurch: [s.n.], 2007.
- CERRI, C.E.P; EASTER, M.; PAUSTIAN, K. et al.. Simulating SOC changes in 11 land use change from Brazilian Amazon with RothC and Century models. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 122, p. 46-57, 2007.
- COLLEMAN, K.; JENKINSON, D.S. RothC 26.3- a model for the turnover of carbon in soil. In: POLWSON, T.S.; SMITH, P.; SMITH, J.U. eds. Evaluation of soil organic matter models using existing long term datasets. NATO ASI, Series I, 38: 237-246, 1996.
- DUBOIS, J. C. L. Para utilizar de forma correta a terminologia SAF. REBRAF. Edição On-Line, 2004. Disponível em: http://www.rebraf.org.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?from_info_index=11&inford=27&sid=2 Acesso em: 09/2009.
- FORNARA, D.A.; TILMAN, D. Plant functional composition influences rates of soil carbon and nitrogen accumulation. Journal of Ecology, v. 9, p314-322, 2008.
- HUMPHREYS, L.R. Tropical forages : their hole in sustainable agriculture. Esses, UK: Longman Scientific & Technical, 1994. 414p.



- LEITE, L.F.C. Doraiswamy, P. Madari, B. Seqüestro de Carbono em Solos sob Plantio Direto e Integração Lavoura-Pecuária: Uma estimativa do simulador computacional CQESTR. Anais da XVII RBMCSA. Rio de Janeiro. 2008.
- MONTAGNINI, F. (Coord.) et al. Sistemas agroforestales: principios y aplicaciones en los trópicos. 2. ed. San José: Organización para Estudios Tropicales, 1992. 622 p.
- MONTENEGRO, J.; ABARCA, S. Fijación de carbono, emisión de metano y óxido nítrico en sistemas de producción bovina en Costa Rica. En. Intensificación de la ganadería en Centroamérica - beneficios económicos y ambientales. CATIE-FAO-SIDE. Editado por Nuetra Terra, 2000. 334p.
- NAIR, P.K. State-of-the-art of agroforestry systems. Forest Ecology and Management, v. 45, p.5-29, 1991.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1173-1179, 1987.
- PEREIRA, J.M. Leguminosas forrageiras em sistemas de produção de ruminantes: Onde estamos ? Para onde vamos ? In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2002, Viçosa. Anais... Viçosa: UFV, 2002, p. 109-147.
- POSSENTI, R. Efeitos de dietas de *Leucaena leucocephala* com ou sem adição de *Sacharomyces cerevisiae* na digestão, fermentação, protozoários e produção de metano no rumem em bovinos. 98 f. Tese (Doutorado). Pirassununga, USP, 2006.
- RICKMAN, R.W., DOUGLAS JR., C.L, ALBRECHT, S.L., BUNDY, L.G, BERG, J.L. CQESTR: a model to estimate carbon sequestration in agricultural soils. Journal of Soil and Water Conservation 56, 237-242. 2001
- SALTON, J; MIELNICZUK, J; BAYER, C; et al. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. Revista Brasileira de Ciência do Solo, n. 32, p. 11-21, 2008.
- SAUSSANA, J.F; ALLARD, V; PILEGAARD, K, et al. Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 121, p121-134, 2007.
- SOUZA, D.M.G. de; VILELA, L.; REIN, T.A.; LOBATO, E. Eficiência da adubação fosfatada em dois sistemas de cultivo em um latossolo de Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: SBCS, 1997. p.57-60.
- TSUKAMOTO FILHO, A. A. Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. 111 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2003.