



ANAIIS

**I SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E
VIII JORNADA DE GESTÃO E ANÁLISE AMBIENTAL**

**GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS
NO CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

2025



ANAIS DO EVENTO

I Simpósio de ciências ambientais E VIII Jornada de Gestão e Análise Ambiental

Gestão de Desastres e Sistemas Complexos no contexto de Mudanças Climáticas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Simpósio de Ciências Ambientais
(1. : 2024 : São Carlos, SP)
Anais do I Simpósio de Ciências Ambientais e
VIII Jornada de Gestão e Análise Ambiental [livro
eletrônico] : gestão de desastres e sistemas
complexos no contexto de mudanças climáticas /
organização Anaí Floriano Vasconcelos...[et al.].
-- São Carlos, SP : Ed. do Autor, 2025.
PDF

Vários autores.
Outros organizadores: Marquesa Chang, Renata Bovo
Peres, Thaís Fanan Peres.
Bibliografia.
ISBN 978-65-01-58960-2

1. Biodiversidade - Conservação 2. Ciências
ambientais 3. Desastres ambientais 4. Educação
ambiental 5. Gestão ambiental 6. Mudanças climáticas
I. Vasconcelos, Anaí Floriano. II. Chang, Marquesa.
III. Peres, Renata Bovo. IV. Peres, Thaís Fanan.
V. Título.

25-286889

CDD-363.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Gestão ambiental 363.7

Eliane de Freitas Leite - Bibliotecária - CRB 8/8415

Organizado por:
Anaí Vasconcelos, Marquesa Chang, Renata Bovo Peres, Thaís Fanan Peres



I SiCAm e VIII JoGAAm

GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
22 a 25 de Abril de 2025 São Carlos – SP



Avaliação do Desempenho e Sustentabilidade de Sistemas de Produção Animal pela Síntese em Energia

Gustavo Verruma Bernardi¹
Marcela de Mello Brandão Vinholis²
Patricia Perondi Anchão Oliveira³
José Ricardo Macedo Pezzopane⁴
Alberto C. de Campos Bernardi⁵
Alexandre Rossetto Garcia⁶
Alexandre Berndt⁷
André de Faria Pedroso⁸
Rolando Pasquini Neto⁹
Thiago Libório Romanelli¹⁰

Eixo temático: Recursos Naturais e Serviços Ambientais

Resumo

A síntese de energia é uma ferramenta eficaz para avaliar a eficiência e a sustentabilidade de sistemas agrícolas, permitindo medir a intensificação e integração de práticas para equilibrar produtividade e carga ambiental. A recuperação de pastagens degradadas, que enfrentam baixa produtividade e problemas ambientais, encontra nos sistemas integrados uma solução para aumentar a eficiência produtiva e mitigar impactos negativos. Este estudo comparou o uso de recursos, produtividade e sustentabilidade de três sistemas agropecuários por meio da análise emergética: pastejo contínuo extensivo, pastejo rotacionado intensivo em sequeiro e integração lavoura-pecuária (ILP). O estudo ocorreu em São Carlos-SP, utilizando dados experimentais da Embrapa e considerando fluxos de recursos renováveis, não-renováveis e externos. Foram avaliados indicadores como transformidade, carga ambiental e renovabilidade. Os resultados mostraram que o sistema intensivo apresenta maior produtividade, mas depende de insumos externos e exerce maior impacto ambiental. O sistema extensivo destacou-se pela alta renovabilidade e menor pressão ambiental, porém com baixa produtividade. O ILP mostrou-se uma alternativa intermediária, equilibrando produtividade e sustentabilidade ao diversificar o uso da terra e reduzir a dependência de insumos. A análise indicou que práticas agrícolas integradas podem melhorar a eficiência no uso de recursos e minimizar impactos ambientais, contribuindo para sistemas mais resilientes diante de mudanças climáticas e pressões econômicas. O estudo reforça a importância de práticas agrícolas inovadoras e sustentáveis para atender à demanda por alimentos, equilibrando necessidades ambientais e econômicas de forma eficiente.

Palavras-chave: agricultura integrada; carga ambiental; energia; pastagens; sistemas integrados.

¹ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
gustavobernardi@usp.br

² Embrapa Pecuária Sudeste. marcela.vinholis@embrapa.br

³ Embrapa Pecuária Sudeste. patricia.anchao-oliveira@embrapa.br

⁴ Embrapa Pecuária Sudeste. jose.pezzopane@embrapa.br

⁵ Embrapa Pecuária Sudeste. alberto.bernardi@embrapa.br

⁶ Embrapa Pecuária Sudeste. alexandre.garcia@embrapa.br



I SiCAm e VIII JoGAAm

GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
22 a 25 de Abril de 2025 São Carlos – SP



⁷Embrapa Pecuária Sudeste. alexandre.berndt@embrapa.br

⁸Embrapa Pecuária Sudeste. andre.pedroso@embrapa.br

⁹Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia – Universidade de São Paulo.
netopasquini@alumni.usp.br

¹⁰Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
romanelli@usp.br

INTRODUÇÃO

A produção animal desempenha um papel fundamental na segurança alimentar global, mas também apresenta desafios ambientais significativos. No Brasil, a pecuária extensiva é predominante, mas enfrenta problemas de baixa produtividade e degradação do solo. Sistemas integrados, como a Integração Lavoura-Pecuária (ILP), surgem como alternativas para aumentar a eficiência e reduzir impactos ambientais. Este estudo utiliza a síntese emergética para comparar a eficiência e a sustentabilidade de três sistemas de produção animal (Foley *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2012; IPCC, 2013; Tubiello *et al.*, 2015; Han *et al.*, 2019; FAOSTAT, 2020).

Os sistemas agropecuários enfrentam desafios crescentes para equilibrar produtividade e sustentabilidade. A degradação de pastagens, o uso excessivo de insumos químicos e a emissão de gases de efeito estufa têm sido temas centrais no debate sobre o impacto ambiental da produção animal (LAPIG, 2020). Assim, a avaliação da emergia surge como uma abordagem fundamental para medir a eficiência dos sistemas e sua relação com o meio ambiente (Martin *et al.*, 2006; Odum, 1984; Rotolo *et al.*, 2007). Este trabalho teve como objetivo comparar o uso de recursos, produtividade e sustentabilidade de sistemas de produção agropecuários por meio da análise emergética.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma área experimental da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos-SP, e analisou três sistemas de produção: Extensivo: pastejo contínuo sem insumos externos; Intensivo: pastejo rotacionado com fertilização anual e ILP: rotação de lavoura e pastagem a cada três anos.

A emergia foi calculada considerando fluxos de recursos renováveis, não renováveis e adquiridos. Foram estimados indicadores como transformidade, carga

ambiental (ELR) e razão de rendimento emergético (EYR). Para tal, foram realizadas medições de entrada de energia nos sistemas, bem como o balanço entre produção e consumo de recursos.

A coleta de dados incluiu medições diretas em campo e a utilização de bases de dados secundárias. A modelagem emergética seguiu as diretrizes propostas por Odum (1996), permitindo avaliar a eficiência produtiva e a sustentabilidade dos sistemas comparados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos na avaliação emergética estão apresentados na Tabela 1 seguidos pelos índices calculados a partir dos valores obtidos (Tabela 1) e uma Tabela simplificada para valores únicos de recursos renováveis locais, não-renováveis locais e comprados (Tabela 2)

Tabela 1 - Desempenho dos sistemas avaliados por meio de indicadores de energia.

Índices	Extensivo	Intensivo	ILP
Renovabilidade (R%)	21,78	11,81	15,93
Índice de Rendimento de Emergético (EYR)	1,31	1,15	1,33
Razão de Carga Ambiental (ELR)	3,59	7,47	5,28
Índice de Investimento Energético (EIR)	3,19	6,52	3,02
Pegada Emergética (ha)	8,74E+01	1,79E+02	1,27E+02

Tabela 2 - Avaliação emergética resumida em recursos renováveis locais (R), recursos não-renováveis locais (N) e recursos comprados (F).

Sistema	R (sej/ha/ano)	N(sej/ha/ano)	F(sej/ha/ano)
Extensivo	1,31E+15	1,27E+14	4,59E+15
Intensivo	1,31E+15	1,67E+14	9,65E+15



ILP

I SiCAm e VIII JoGAAm

GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
22 a 25 de Abril de 2025 São Carlos – SP

1,31E+15

7,37E+14

6,20E+15

Os sistemas avaliados apresentam semelhanças na dependência de recursos externos ou comprados (F), a compra de bezerros, a infraestrutura utilizada, os serviços e a mão-de-obra são recursos considerados como não-locais e representam a maior parcela da contribuição emergética total. O gasto energético com a infraestrutura e serviços são destaques na contribuição geral, representando cerca de 25% dos sej/Js analisados nos sistemas. Em relação aos Recursos Renováveis Locais (R), o sistema Extensivo se destaca por apresentar maior dependência desses recursos gratuitos, 24 correspondendo a 22% do total, seguido pelo ILP, com 16% e o intensivo com 12%. Esse fato ocorre pelo seu investimento quase nulo em recursos externos, o que garante uma produtividade menor, porém pouca dependência do mercado externo. Um ponto comum, também observado no trabalho de Reis *et al.* (2021), é o papel crucial da chuva como recurso local renovável desses sistemas, representando 93% da contribuição nessa categoria de recursos. Já a maior proporção de uso de Recursos Não-Renováveis Locais (N) foi observada no sistema ILP, proporção fortemente influenciada pela utilização mais intensiva do recurso solo pelo cultivo de milho na rotação. Esse uso mais intensivo resulta em maior produtividade e conversão energética na mesma área, refletindo em um desempenho superior no índice de transformidade. Esse índice evidencia a eficiência energética, com o sistema ILP apresentando resultados notavelmente melhores quando comparado aos sistemas baseados apenas na transformidade animal das pastagens, que, por sua vez, são menos eficientes que transformidades vegetais.

A análise de indicadores emergéticos, como a Razão de Carga Ambiental (ELR), a Razão de Investimento em Energia (EIR) e a Razão de Rendimento de Energia (EYR), permite avaliar a sustentabilidade e a eficiência dos diferentes sistemas em diferentes pontos-de-vista, olhando para as diferentes naturezas das contribuições: externa, local, gratuita ou comprada. Usando esses indicadores pode-se ter uma visão de impacto ambiental, da dependência de recursos externos e da contribuição líquida de cada sistema à economia. O índice ELR reflete o estresse ambiental imposto pelas atividades produtivas, relacionando a utilização de recursos renováveis e não



I SiCAm e VIII JoGAAm

GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
22 a 25 de Abril de 2025 São Carlos – SP



renováveis. O sistema intensivo apresenta valores de ELR mais elevados em comparação aos sistemas extensivo e ILP, devido à menor proporção de recursos renováveis e a maior dependência de recursos externos, como fertilizantes incorporados e necessários nas técnicas, que por sua vez trazem UEVs elevados, de acordo com Brown *et al.* (2012), criando um relacionamento inverso com a eficiência do sistema. Esse dado evidencia a maior pressão sobre o ecossistema exercida por sistemas que utilizam intensivamente insumos externos. No entanto, a semelhança de carga ambiental nos valores de ELR entre os sistemas extensivo e ILP sugere que, embora a abordagem intensiva em insumos do sistema ILP seja ambientalmente custosa, por diversificar sua estratégia de uso da área, ela se torna igualmente eficiente em capturar recursos renováveis e garantir alta produtividade, provando a performasse positiva dos sistemas integrados descrita nos trabalhos de Nair (1991); Macedo (2009); Balbino *et al.* (2011a); Balbino *et al.* (2011b); Lemaire *et al.* (2014). A EIR mede a dependência dos sistemas produtivos em relação a insumos externos, quando conectados diretamente à economia global. Os dados revelam que o sistema de integração (ILP) tem a menor dependência, com um EIR de 3,02, seguido pelo sistema extensivo e pelo sistema Intensivo. Essa escalada de valores demonstra que sistemas intensificados em insumos necessitam de maior suporte econômico externo, e destaca os sistemas ILP e extensivo como o mais independentes e potencialmente resiliente em condições de mercado desfavoráveis. Considerando uma análise conjunta, EYR avalia a capacidade de um sistema em contribuir positivamente para a economia, considerando a relação entre energia gerada e energia investida. Os sistemas com menor uso de insumos externos tendem a alcançar valores mais altos de EYR, pois aproveitam melhor os recursos disponíveis localmente. Embora o sistema intensivo apresente produtividade absoluta elevada, seu desempenho inferior no EYR (1,15) indica que sua eficiência econômica líquida é reduzida quando comparada aos outros estudados, que lideram no índice com um EYR elevado devido à maior autonomia e menor dependência de recursos externos. Esses resultados ilustram o dilema entre intensificação produtiva e sustentabilidade. O sistema intensivo maximiza a produtividade a um custo ambiental e econômico elevado, enquanto o sistema extensivo se destaca pela menor dependência de insumos externos e menor pressão ambiental,



I SiCAm e VIII JoGAAm

GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
22 a 25 de Abril de 2025 São Carlos – SP



embora com uma produtividade absoluta inferior. O sistema ILP surge como um modelo intermediário, balanceando características de ambos os extremos. Portanto, a escolha de práticas entre os sistemas deve considerar o contexto local, incluindo a disponibilidade de recursos, demandas de mercado e prioridades em relação à sustentabilidade, nesse sentido, o desempenho notório do sistema integrado, depende fortemente do recurso não-renovável local solo para sua performasse positiva nos índices. A partir do momento que os serviços fornecidos pelo solo não são repostos no mesmo ritmo que são usados, o resultado é a degradação esses solos (Foley *et al.*, 2011). Integrar práticas que aumentem a eficiência no uso de insumos externos e promovam o uso de recursos renováveis pode ser uma estratégia promissora para melhorar nos índices estudados e garantir a viabilidade de longo prazo dos sistemas produtivos.

Um último índice que surge como apoio visual para essa discussão é a Pegada Emergética. Este índice, cunhado no trabalho de Wright *et al.* (2018), descreve uma área (ha) teórica necessária para que todos os recursos usados fossem gerados localmente, a partir de recursos renováveis. Os valores de pegada de energia evidenciam a maior carga ambiental do sistema Intensivo. Se todos os recursos renováveis locais fossem utilizados para sustentar essa atividade, a área do sistema intensivo precisaria ser aproximadamente 180 vezes maior do que a atual, seguido por 127 vezes e 87 vezes dos sistemas ILP e extensivo, respectivamente.

CONCLUSÕES

A metodologia de síntese em energia cria uma relação de sustentabilidade dos sistemas produtivos intrinsicamente ligada ao seu uso de recursos e produtividade, gerando uma perspectiva crítica quanto ao equilíbrio entre eficiência econômica e impacto ambiental. Enquanto sistemas intensivos garantem alta produtividade, eles exigem maior aporte de insumos externos, resultando em maior pressão ambiental e menor eficiência líquida. Por outro lado, sistemas extensivos, embora menos produtivos, apresentam maior independência e menores impactos, evidenciando sua resiliência em cenários de escassez de recursos. O sistema ILP, como modelo integrado que diversifica o uso cultural de uma mesma área, representa uma oportunidade estratégica



I SiCAm e VIII JoGAam

GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
22 a 25 de Abril de 2025 São Carlos – SP



para conciliar produtividade e sustentabilidade, destacando-se como uma solução intermediária promissora. Essa análise reforça a importância de alinhar a escolha dos sistemas produtivos às demandas locais e globais, promovendo a transição para uma agricultura mais sustentável e eficiente no uso de recursos naturais.

REFERÊNCIAS

- BALBINO, L.C.; BARCELLOS, A.O.; STONE, L.F. **Marco referencial: Integração Lavoura-Pecuária Floresta (iLPF)**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p
- BROWN, M.; CAMPBELL, D.; VILBISS, C.; ULGIATI, S. The geobiosphere emergy baseline: A synthesis. **Ecological Modelling**, v. 339, p. 92-95, 2016. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2016.03.018>
- DAVIS, A.S.; HILL, J.D.; CHASE, C.A.; JOHANNES, A.M.; LIEBMAN, M. Increasing cropping system diversity balances productivity, profitability and environmental health. **PLoS One** 7, v. 10, e47149, 2012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047149>.
- FAOSTAT. **Food and agriculture organization of the united Nations - emission shares**. 2020. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/EM/visualize> (accessed 3.9.20).
- FOLEY, J.A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K.A.; CASSIDY, E.S.; GERBER, J.S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N.D.; O'CONNELL, C.; RAY, D.K.; WEST, P.C.; BALZER, C.; BENNETT, E.M.; CARPENTER, S.R.; HILL, J.; MONFREDI, C.; POLASKY, S.; ROCKSTROM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D.P.M. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337- 342, 2011. <https://doi.org/10.1038/nature10452>.
- HAN, M.; ZHANG, B.; ZHANG, Y.; GUAN, C. Agricultural CH₄ and N₂O emissions of major economies: consumption-vs. production-based perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, 276e286. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.018>.
- IPCC. Intergovernmental panel on climate change. Summary for policymakers. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds.). **Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group i to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. US, Cambridge - CA. UK and New York - NY. 2013. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- LAPIG. **Atlas digital das pastagens brasileiras**. 2020. Disponível em: <http://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 20 out. 2024.
- MACEDO, M.C.M. Crop and livestock integration: the state of the art and the near future. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001300015>
- MARTIN, J.F.; DIEMONT, S.A.W.; POWELL, E.; STANTON, M.; LEVY-TACHER, S. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 115, n. 1-4, p. 128-140, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.016>
- NAIR, P.K.R. State-of-the-art of agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, v. 45, n. 1-4, p. 5-29, 1991. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90203-8](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90203-8).



I SiCAm e VIII JoGAAM

GESTÃO DE DESASTRES E SISTEMAS COMPLEXOS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS
22 a 25 de Abril de 2025 São Carlos – SP



- ODUM, H.T. Energy analysis of the environmental role in agriculture. *In*: STANHILL, G. **Energy and Agriculture**. Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 24-51, 1984. Disponível em https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-69784-5_3.
- REIS, J.; RODRIGUES, G.; BARROS, I.; RODRIGUES, R.; GARRETT, R.; VALENTIM, J.; KAMOI, M.; MICHETTI, M.; WRUCK, F.; RODRIGUES-FILHO, S.; PIMENTEL, P.; SMUKLER, S. Integrated crop-livestock systems: A sustainable land-use alternative for food production in the Brazilian Cerrado and Amazon. **Journal of Cleaner Production**, v. 283, p. 124580, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124580>.
- ROTOLO, G.C.; RYDBERG, T.; LIEBLEIN, G.; FRANCIS, C. Emergy evaluation of grazing cattle in Argentina's Pampas. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 119, n. 3-4, p. 383-395, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.08.011>
- TUBIELLO, F.N.; SALVATORE, M.; FERRARA, A.F.; HOUSE, J.; FEDERICI, S.; ROSSI, S.; BIANCALANI, R.; CONDOR GOLEC, R.D.; JACOBS, H.; FLAMMINI, A.; PROSPERI, P.; CARDENAS-GALINDO, P.; SCHMIDHUBER, J.; SANZ SANCHEZ, M.J.; SRIVASTAVA, N.; SMITH, P. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990-2012. **Global Change Biology**, v. 21, p. 2655e2660, 2015. <https://doi.org/10.1111/gcb.12865>.
- WRIGHT, C.; OSTERGÅRD, H. Renewability and emergy footprint at different spatial scales for innovative food systems in Europe. **Ecological Indicators**, v. 62, p. 220e227, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.042>