

Análise técnico-econômica de sistemas de recuperação de pastagens de *Urochloa brizantha* CV. Marandu

Technical and economic analysis of recovery systems for pastures with Urochloa brizantha CV. Marandu

Rayner Sversut Barbieri¹, Maria Julia Betiolo Troleis², Paulino Taveira de Souza³, Bruno Henrique Volpato Rodrigues⁴, Omar Jorge Sabbag⁵, Rafael Montanari⁶

RESUMO: A recuperação de pastagens por meio da recomposição da fertilidade do solo tem custo operacional baixo, porém são necessários estudos que a comparem em sistemas de aplicação a taxas variadas como base de planejamento e desenvolvimento de uma área. Nesse sentido, objetivou-se avaliar economicamente a recuperação da fertilidade do solo de uma pastagem degradada em dois sistemas de produção: convencional (SC) e agricultura de precisão (AP), por meio de simulação, estimando-se os custos e a respectiva rentabilidade associada às práticas de recuperação em Selvíria (MS). Nesse estudo foi usada uma simulação bioeconômica e os custos foram classificados de acordo com a metodologia do Instituto de Economia Agrícola de São Paulo. A recuperação no SC apresentou índice de lucratividade 5,41% e o AP 6,42%, proporcionando um preço de custo @⁻¹ de R\$205,96 e R\$203,54 para o SC e AP, respectivamente. Em função da valorização da arroba no último ano, ambos os sistemas apresentaram retorno econômico viável segundo as estimativas empregadas nesse estudo. Comparando-se áreas cultivadas com AP e SC, é provável que se obtenha resultados mais confiáveis e com melhores perspectivas em maiores áreas de cultivo.

Palavras-chave: *Brachiaria*. Conservação. Custos. Tecnologia. Variabilidade espacial.

ABSTRACT: Pasture recovery by the re-composition of soil fertility has low operational costs, although studies are required to compare it to application systems at variable rates within planning and development of a region. Research evaluates economically the recovery of soil fertility of a degraded pasture in two production systems: the conventional system (CS) and precision agriculture (PA), by simulation, with estimate of costs and respective rentability coupled to recovery practices in Selvíria MS Brazil. A bio-economic simulation was employed and costs were classified according to the methodology of the Institute of Agricultural Economy of São Paulo. CS and PA recovery showed 5.41% and 6.42% gain respectively, with cost price @⁻¹ of R\$205.96 and R\$203.54 for CS and PA, respectively. Due to valorization of @ during the last year, both systems revealed a feasible economic return according to the estimates given. When regions cultivated with PA and CS are compared, probably more reliable results are obtained coupled to better perspectives in larger areas.

Keywords: *Brachiaria*. Conservation. Costs. Technology. Spatial variability.

Autor correspondente:

Rayner Sversut Barbieri: rayner.barbieri@fazu.br

Recebido em: 26/03/2020

Aceito em: 04/12/2020

¹ Professor doutor permanente do Departamento de Zootecnia das Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU), Uberaba, Minas Gerais, Brasil.

² Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (SP), Brasil.

³ Engenheiro Agrônomo. Doutorando em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (SP), Brasil.

⁴ Graduando em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (SP), Brasil.

⁵ Livre Docente do Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Campus Ilha Solteira (SP), Brasil.

⁶ Livre Docente no Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira (SP), Brasil.

INTRODUÇÃO

A pecuária brasileira está cada vez mais competitiva, seletiva e concentrada em trazer mais benefícios ao sistema com sustentabilidade. O solo é um dos componentes principais na agropecuária e sob pastagem, tratá-lo com um modelo extrativista resulta em degradação. A forrageira deve ser tratada como uma cultura e, desta forma, estratégias para um bom planejamento pastoril pode resultar em maior rentabilidade ao produtor.

Existe uma grande preocupação na degradação de pastagens no Brasil em função de seus prejuízos econômicos e ambientais (ANDRADE *et al.*, 2017; ARAUJO *et al.*, 2018; DIAS-FILHO, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2020; SALOMAO; BARBOSA; CORDEIRO, 2020). Dias-Filho (2017) define a degradação como uma queda acentuada e contínua da produtividade da pastagem no decorrer do tempo. Segundo Andrade *et al.* (2017), o cerrado brasileiro apresenta mais de 50% de suas pastagens cultivadas sob algum processo de degradação.

A recuperação de pastagens degradadas pode ser extremamente favorável para recuperação do solo e, além disso, ser uma opção viável técnica e economicamente, uma vez que permitirá um acréscimo de produção agropecuária no país (SALOMÃO; BARBOSA; CORDEIRO, 2020). A preocupação se trata no custo de recuperação que, à medida que o nível de degradação avança, maior será o aporte financeiro e menor o retorno econômico. Dessa maneira, trabalhar com a recuperação em zonas específicas de manejo pode tornar o custo de recuperação menor.

A agricultura de precisão, utilizando-se da ferramenta geoestatística, permite organizar os dados disponíveis espacialmente de acordo com a semelhança entre vizinhos georreferenciados. Assim, é possível obter um diagnóstico de problemas específicos dentro de um talhão, que requererão intervenções de manejo específicas (GREGO *et al.*, 2014).

A eficiência de uma gestão em qualquer atividade depende de um suporte capaz de prover informações relevantes para as diversas decisões gerenciais, por meio do uso sistemático destas informações. Este processo se dá através de um sistema gerador do perfil real da situação econômica da empresa (ARAUJO, 2016).

Desta forma, em sistemas de produção agropecuária destacam-se basicamente três tipos de metodologias de análises econômicas, variando na maneira de classificação dos custos, indicadores respostas e dinamismo de avaliação das respostas (ANDRADE *et al.*, 2018), das quais a metodologia de custos operacionais divide-se em custos operacionais efetivos, custos operacionais totais e custo total de produção, muito utilizada para análises dos modelos de produção agropecuários, sendo adotada pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar economicamente a recuperação da fertilidade do solo de uma pastagem potencialmente degradada em dois sistemas de produção: convencional *versus* agricultura de precisão, por meio de simulação, estimando-se os custos e a respectiva rentabilidade associada às práticas de recuperação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Nesse estudo foi usada uma simulação bioeconômica de acordo com Brumatti *et al.* (2011) e Gaspar *et al.* (2017) com adaptações. As etapas de execução do trabalho constam na Figura 1.

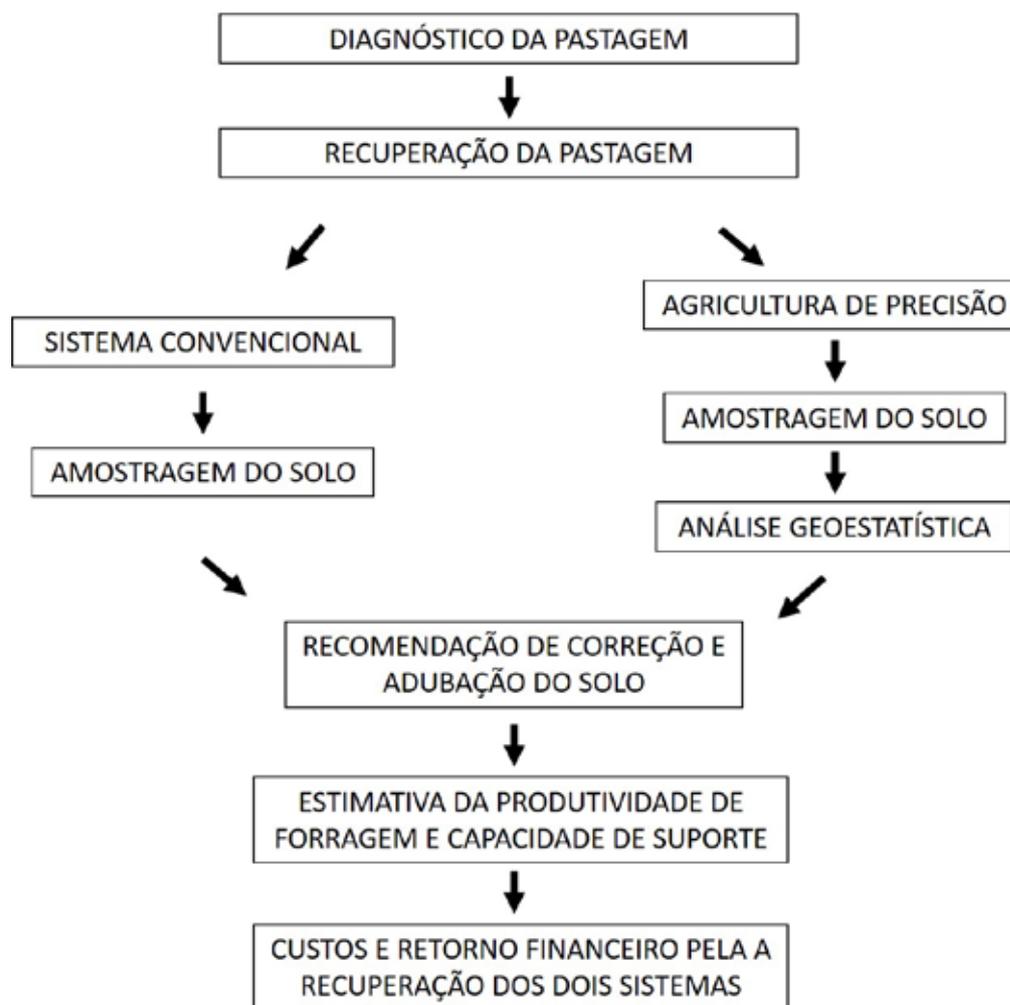


Figura 1. Etapas de execução do trabalho

Fonte: elaboração própria.

A área utilizada neste estudo tinha aproximadamente 3 hectares e instalada com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. Foi realizado um diagnóstico inicial da pastagem segundo Dias-Filho (2017) e foi constatado nível 1 de degradação. Destaca-se que o nível 1 compreende em degradação leve com possibilidade de recuperação por meio do reestabelecimento da fertilidade do solo.

O reestabelecimento da fertilidade do solo foi estimado em dois sistemas de recuperação: a) convencional (SC) - foram coletadas quinze amostras simples para compor uma composta na profundidade de 0,00 a 0,20 metros no caminhamento em zigue-zague; e b) agricultura de precisão (AP) - sendo confeccionada uma malha geoestatística composta por 40 amostras georreferenciadas aleatoriamente na profundidade de 0,00 a 0,20 metros.

A amostragem foi realizada no ano agrícola de 2015/2016 e conduzida em área experimental de sistemas de produção em bovinocultura de corte pertencente à Faculdade de Engenharia - UNESP, Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria (MS), situada aproximadamente a 51° 22' de longitude Oeste de Greenwich e 20° 22' de Latitude Sul (Figura 1), com altitude de 335 metros. Sua precipitação média anual é de 1.300 mm, e a temperatura média, de 23,7 °C. O solo foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO eutrófico, textura arenosa (EMBRAPA, 2013).

Em 1978, a área de pastagem da fazenda experimental foi formada. Foram aplicadas 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico e 1 t ha⁻¹ de fosfato natural GAFSA (25,6% de P₂O₅ solúvel). Em 2009, a área foi reformada e aplicadas 2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT: 86%). A área do estudo é formada com a forrageira *Brachiaria* (*Syn. Urochloa brizantha*) cv. Marandu e não recebeu mais nenhum tipo de adubação ou calagem. Foi realizado anteriormente controle de cupins e aplicação de Regente®.

As amostras originárias de ambas metodologias de coleta foram submetidas a análises químicas para determinação inicial (Tabela 1) dos teores de matéria orgânica (MO), fósforo (P), potássio (K⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺). Além disso, foram determinados os valores de capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%), acidez potencial (H⁺ + Al³⁺), saturação por alumínio (m%) e pH.

A partir das determinações dos atributos químicos do solo, as necessidades de calagem (NC), gessagem (NG), nitrogênio (NN), fósforo (NP - P₂O₅), potássio (NK - K₂O) foram calculadas de acordo com Raij *et al.* (1997) para gramíneas do “Grupo II” para manutenção, sendo que à NC foi atribuída valor zero para os pontos amostrais em que o cálculo resultou em uma recomendação de aplicação menor que uma tonelada por hectare. Assim, com base nas recomendações de correção e adubação do solo e seu teor de MO, foi estimada a produtividade de forragem nos dois sistemas.

Tabela 1. Determinação inicial da fertilidade de um ARGISSOLO sob pastagem *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Selvíria (MS), 2015/2016)

P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	V	m
mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	mmol _c dm ⁻³						%		
9.0	15.0	5.4	0.6	15.0	18.0	0.0	0.0	33.8	51.8	65.0	0.0

*P, MO, pH, K, Ca, Mg, H+Al, Al, SB, CTC, V e m são, respectivamente, teor de fósforo, matéria orgânica, potencial hidrogeniônico (CaCl₂), teor de potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, teor de alumínio, soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e saturação por alumínio.

Fonte: Dados do autor.

A produtividade de forragem pós recuperação foi estimada com base no reestabelecimento da fertilidade do solo nos dois sistemas, segundo a Equação 1 e 2, descritas por Silveira *et al.* (2013) e Malavolta (1989), respectivamente.

$$PMSmed = (x + y) * z \quad (1)$$

Onde PMSmed = Produção média de matéria seca por hectare; x = kg de N aplicado; y = kg de N vindo da mineralização (Equação 2); z = kg de MS por Kg de N liberado.

$$y = \left[\left(\frac{\%MO}{20} * 2000 \right) * TXM \right] \quad (2)$$

Onde y = kg de N vindo da mineralização; %MO = porcentagem de matéria orgânica no solo; TXM = Taxa de mineralização da matéria orgânica.

Após determinada a PMSmed, foi estimada a capacidade de suporte da pastagem pela Equação 3, obtida das equações propostas por Benett *et al.* (2008) e Fagundes *et al.* (2005).

$$\frac{UA}{ha} = \frac{PMSmed - (0,28 * PMSmed)}{0,025 * PV * 180} \quad (3)$$

Onde: UA/ha = Quantidade de unidade animal por hectare; PMSmed = Produção média de matéria seca (kg/ha); PV = Peso vivo do animal.

A estimativa de ganho de peso (GPV) calculada pelo *National Research Council* (NRC, 2000), para animais inteiros da raça Nelore, com condição corporal 5 e consumo diário de matéria seca de 11,25 kg dia⁻¹ (2,5% do Peso Vivo) é de 0,500 kg dia⁻¹. Foi considerado um peso vivo inicial dos animais de 450 kg e um preço de compra de 214,37 @⁻¹, obtida pela média encontrada no mês de dezembro de 2019 (CEPEA, 2019); e um preço de venda cotado em R\$217,74 @⁻¹ no dia 25/06/2020 (CEPEA, 2020), com rendimento de carcaça de 53%.

O componente espacial para o sistema de agricultura de precisão foi caracterizado pela dependência espacial entre as amostras, que foram analisadas pelo método do semivariograma. Este se baseia na teoria de variáveis regionalizadas (WEBSTER; OLIVER, 1990) e descreve a continuidade espacial das variáveis como uma função da distância entre os dois locais (Equação 4):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

Onde $\gamma(h)$ é a semivariância experimental para uma distância de separação h ; $z(x_i)$ é o valor da propriedade do ponto i e $N(h)$ é o número de pares de pontos separados pela distância h . A plotagem $\gamma(h) \times h$ produz o semivariograma experimental, que apresenta um comportamento puramente aleatório (efeito pepita puro - EPP) ou algum comportamento sistemático por modelos teóricos (esférico, exponencial ou gaussiano).

Depois de ajustar o modelo para o semivariograma, foram estimados valores nos locais não amostrados pela técnica de krigagem⁷ ordinária (WEBSTER; OLIVER, 1990). Os semivariogramas, ajuste de modelos e interpolação pela krigagem ordinária foram realizados pelo programa GS+ versão 9.0 *Geostatistics for the Environmental Sciences* (ROBERTSON, 2004).

O avaliador de dependência espacial (ADE) foi avaliado de acordo com Dalchiavon *et al.* (2012), onde: a) ADE < 20% = variável espacial de muito baixa dependência (MB); b) 20% ≤ ADE < 40% = baixa dependência (BA); c) 40% ≤ ADE < 60% = média dependência (ME); d) 60% ≤ ADE < 80% = alta dependência (AL); e e) 80% ≤ ADE < 100% = muito alta.

Neste trabalho, utilizou-se a metodologia de estudo de caso. O “estudo de caso” representa uma investigação empírica e compreende um método abrangente, com a lógica do planejamento, da coleta e da análise de dados, podendo incluir tanto estudos de caso único quanto de múltiplos, assim como abordagens quantitativas e qualitativas de pesquisa (YIN, 2001).

Os custos foram classificados de acordo com a metodologia do Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA/SP), como mencionado na contextualização do referido trabalho, sendo descrita por Matsunaga *et al.* (1976), na qual o custo operacional total (COT) é representado pela composição das operações manuais,

⁷ Método de regressão usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados.

insumos, depreciações e encargos financeiros (juros de custeio). Dessa forma, o levantamento de custos constitui-se em um método de avaliação de desempenho econômico e técnico da atividade.

Para o custo operacional efetivo (COE), foram contabilizados os gastos com materiais consumidos, bem como o tempo relacionado ao uso de máquinas/implementos e à mão de obra incorporada para cada operação, definindo-se, assim, os respectivos coeficientes técnicos (homem dia⁻¹). Os preços médios na região foram coletados em unidade de moeda Real (R\$), referentes ao ano de 2019.

Dessa forma, os respectivos cálculos do COT foram correspondentes aos itens:

a) Materiais (ou insumos): referiu-se às principais despesas correspondentes com a compra de animais, bem como a análise química do solo - referentes ao custo para análise química das amostras de solo no Laboratório de fertilidade do solo da Unesp, campus de Ilha Solteira, sendo obtido pela multiplicação de cada quantidade utilizada pelo seu respectivo preço;

b) Encargos financeiros: relacionaram-se os encargos financeiros calculados sobre 50% do valor do COE, aplicados à taxa de 5,5% a.a. (PRONAF);

c) Despesas gerais: correspondentes ao valor de 5% atribuído ao total do COE, referente a gastos diversos correspondentes à administração.

Empregaram-se no trabalho os indicadores de análise de rentabilidade proposto por Martin *et al.* (1998), os quais são definidos como:

a) Receita Bruta (RB): constituída pela receita esperada para determinada produção por hectare para cada época de corte, para um preço de venda pré-definido, ou efetivamente recebido, ou seja, $RB = Pr \times Pu$, em que: Pr = produção da atividade por unidade de área e Pu = preço unitário do produto;

b) Resultado Operacional (RO): resultante da diferença da receita bruta e custos totais, medindo a atividade em termos monetários no curto prazo, sendo expresso por $RO = RB - COT$;

c) Índice de Lucratividade (IL): resultante da relação entre o resultado operacional e a receita bruta, em percentagem, mostrando a taxa disponível de receita da atividade após o pagamento de todos os custos operacionais, expresso por $IL = (RO / RB) \times 100$;

d) Ponto de Nivelamento (PN): indicador de produção ou custo de equilíbrio, para que a atividade não incorra em prejuízos, dado por PE (produção de equilíbrio) = COT / Pu e PC (preço de custo) = $COT / produção$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No sistema convencional foi recomendado 60 Kg ha⁻¹ de nitrogênio, 30 Kg ha⁻¹ de fósforo, 40 Kg ha⁻¹ de potássio e 20 Kg ha⁻¹ de enxofre. Já no sistema agricultura de precisão, apenas a NK foi calculada de acordo com as zonas específicas de manejo apresentadas pela dependência espacial encontrada na análise geoestatística (Tabela 2 e Figura 2). A recomendação da NK no sistema agricultura de precisão foi de 30 Kg ha⁻¹ em 18,87% da área total (0,59 ha); 20 Kg ha⁻¹ em 47,53% da área total (1,49 ha); 10 Kg ha⁻¹ em 30,36% da área total (0,95 ha); e em 3,25% da área total (0,10 ha) nenhuma adubação recomendada, totalizando 56,9 Kg ha⁻¹.

A geoestatística, representada pelos parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais constam na Tabela 2; já na Figura 2 são expostos os respectivos semivariogramas e mapas de krigagem ordinária.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais de um ARGISSOLO sob pastagem de *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Selvíria (MS), 2015/2016)

Atributo ^(a)	Modelo ^(b)	Efeito Pepita (C ₀)	Patamar (C ₀ + C)	Alcance (m)	r ²	SQR ^(c)	ADE ^(d)	
							%	Classe
MO	Exp. (23)	2,00x10	3,81	40,2	0,552	1,61	94,8	MA
NC	Epp.	3,90x10 ²	3,90x10 ²	-	-	-	-	-
NP	Epp.	3,35x10	3,35x10	-	-	-	-	-
NK	Exp. (24)	6,50	4,87x10	37,5	0,610	1,81x10 ²	86,7	MA

^(a) MO, NC, NP e NK são teor de matéria orgânica, necessidade de calagem, necessidade de fósforo e necessidade de potássio, respectivamente; ^(b) Exp = exponencial, Epp = efeito pepita puro, com seus devidos pares relacionados no primeiro LAG; ^(c) SQR: soma dos quadrados dos resíduos; ^(d) ADE = avaliador da dependência espacial, sendo MA = muito alta.

Fonte: Dados do autor.

A MO obteve dependência espacial muito alta (94,8%) e um alcance de 40,2 metros. A NK também apresentou dependência espacial muito alta (86,7%) e um alcance de 37,5 metros. O alcance impõe os limites para as zonas específicas de manejo apresentados nos mapas. Os mapas de krigagem apresentam semelhanças entre a MO (Figura 2a) e NK (Figura 2b). As zonas central, norte e noroeste apresentam reduzidas concentrações de matéria orgânica e conseqüentemente maior necessidade de potássio.

Em um estudo da distribuição espacial da matéria orgânica do solo sob o uso de diferentes pivôs centrais, Nikkel e Lima (2017) também encontraram ADE muito alta (99%). Silva Neto *et al.* (2012), ao analisarem a variabilidade espacial do teor de MO em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, também perceberam alta dependência espacial no teor de MO (98-100%). Sua relação com a NK é explicada pela MO exercer efeitos diretos e indiretos sobre os atributos do solo, logo, tem grande influência sobre a capacidade produtiva do mesmo (NIKKEL; LIMA, 2017).

É importante destacar que não houve necessidade de gessagem em ambos sistemas, pois os teores de Ca⁺² estão acima de 4 mmol_c dm⁻³ e a saturação por alumínio não ultrapassa 40% (Tabela 1); as necessidades de nitrogênio e enxofre são iguais em todos os pontos analisados, por esse motivo não se faz necessário o estudo da variabilidade espacial.

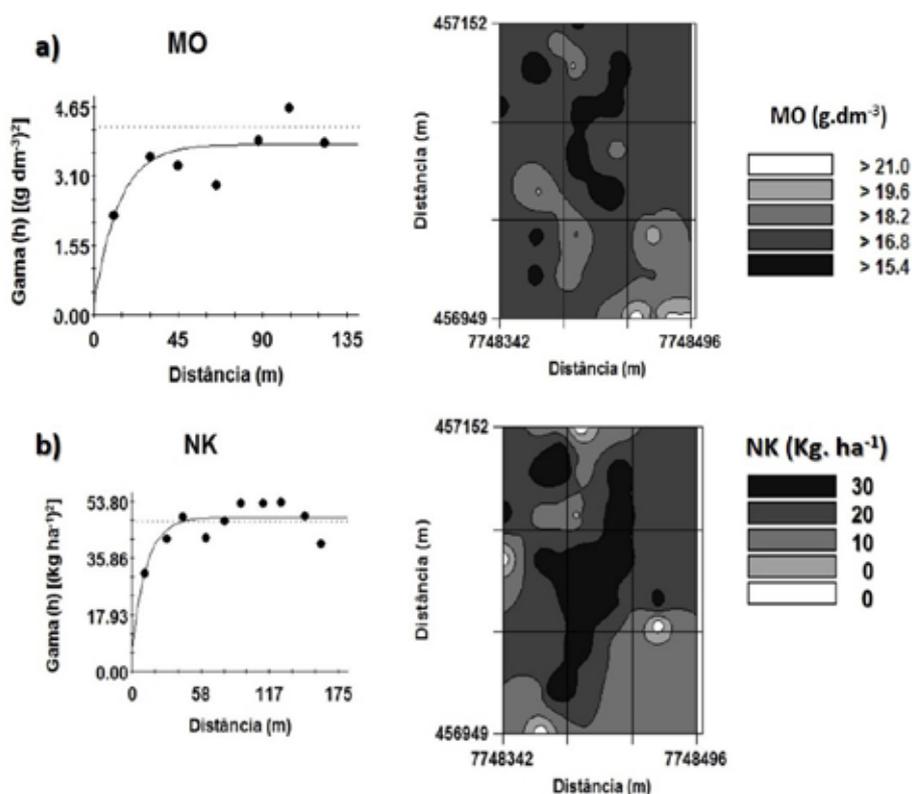


Figura 2. Modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas experimentais e mapa de krigagem ordinária dos atributos estudados (Selvíria (MS), 2015/2016).

Fonte: Dados do autor.

A NC e NP apresentaram efeito pepita puro, ou seja, não há dependência espacial entre os pontos amostrais, sendo assim, descartado o reestabelecimento da fertilidade do solo pelo sistema agricultura de precisão, adotando-se então o mesmo manejo do sistema convencional. A ausência da dependência espacial impede a criação de mapas com zonas específicas de manejo (krigagem). A literatura brasileira tem comprovado que, via de regra, o teor de matéria orgânica e teor de potássio apresentam maior continuidade do que o teor de P e outros micronutrientes (RESENDE; COELHO, 2017).

A estimativa da PMSmed (Equação 1 e 2) após o reestabelecimento da fertilidade do solo nos dois sistemas depende diretamente do nitrogênio (da adubação e mineralização da matéria orgânica no solo). A recomendação de aplicação de nitrogênio foi de 60 Kg de N ha⁻¹ para ambos sistemas.

Pela matéria orgânica, é importante compreender que muitas vezes o nitrogênio encontra-se imobilizado na matéria orgânica do solo, portanto, a absorção se dá principalmente por meio das suas formas minerais como o amônio e nitrato, sendo então importante considerar a taxa de mineralização dessa matéria orgânica (SILVEIRA *et al.*, 2013). As taxas de mineralização anual da MO variam entre 2-5% do nitrogênio total do teor de MO (FOTH; ELLIS, 1996; CAMARGO *et al.*, 1999). A estimativa da taxa de mineralização utilizada foi de 4%.

A MO no solo utilizada no SC foi de 15 g dm⁻³ (Tabela 1). No sistema AP foram utilizados valores segundo análise geoestatística, mesmo assim, não houve diferença em relação ao SC. Portanto, em posse da quantidade de nitrogênio disponível para as plantas, pode-se determinar a PMSmed. Corsi e Nússio (1993)

ressaltaram que para forrageiras, cada 1 kg de N resulta em acúmulo de cerca de 40 a 70 kg MS. Foi utilizado um valor médio de 50 Kg de MS a cada 1 Kg de N disponível.

Não houve diferença na capacidade de suporte da pastagem entre os sistemas, uma vez que também houve pequena variação na PMSmed (3,30 e 3,35 ton ha⁻¹ para o SC e AP, respectivamente) obtida pela MO, portanto, a capacidade de suporte estimada foi de 4 UA ha⁻¹. Com GPV de 0,5 kg dia⁻¹, a estimativa no fim do período das águas (180 dias) seriam animais de 540 Kg, vendidos com preço de R\$217,74 @⁻¹ (CEPEA, 2020).

Na estimativa do custo operacional para recuperação da fertilidade do solo sob pastagem (Tabela 3), o COT no sistema SC foi maior que no AP, destacado pela diferença no custo da NK (R\$1.765,32 e R\$802,29 para o SC e AP, respectivamente). Essa diferença é explicada pelas diferenças na aplicação de potássio pelas zonas específicas, sendo que, no sistema convencional, a NK foi superior em toda a área.

Vale mencionar que a estimativa de custos foi composta pelos principais coeficientes técnicos de produção, referentes aos gastos com a compra de animais e ao uso dos materiais respectivos para cada sistema analisado, considerando a quantidade e ao preço pago para cada insumo, bem como das variáveis adicionais (despesas e encargos) para constituição do custo total.

Esse resultado mostra que na amostragem tradicional, normalmente, uma ou poucas amostras são tomadas para representar a condição média do solo. No caso da amostragem georreferenciada, ao dispor de informações baseadas num número maior de amostras de solo, já de início o produtor usufruirá de um melhor entendimento sobre as condições da pastagem (RESENDE; COELHO, 2017).

Tabela 3. Estimativa do custo operacional para recuperação da fertilidade de um ARGISSOLO sob pastagem *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Selvíria (MS), 2015)

Descrição	Sistema convencional			Sistema agricultura de precisão		
	Qtde	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)	Qtde	Valor unitário (R\$)	Total (R\$)
Compra de animais ¹	12	3.215,55	38.586,60	12	3.215,55	38.586,60
<i>Material (Insumos)²</i>						
Análise do solo	1	11,50	11,50	46	11,50	460,00
NN (kg)	187.8	10,82	2.032,00	187.8	10,82	2.032,00
NP (kg)	93.9	16,43	1.542,78	93.9	16,43	1.542,78
NK (kg)	125.2	14,10	1.765,32	56.9	14,10	802,29
NS (kg)	62.6	10,50	657,30	62.6	10,50	657,30
Custo operacional efetivo (COE)			44.595,50			44.080,97
Despesas gerais ³			1.652,33			1.626,61
Encargos financeiros ⁴			908,78			894,63
Custo operacional total (COT)			47.156,61			46.602,21

¹ Animais de 450 Kg e valor de R\$ 214,37 @⁻¹; ² Quantidades calculadas para 3,13 hectares onde NN, NP, NK e NS são as necessidades de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre, respectivamente; ³ 5% do COE; ⁴ Taxa de juros de 5,5% a.a. sobre 50% do valor do COE.

Fonte: Dados da pesquisa.

Considerando apenas os custos do reestabelecimento da fertilidade do solo, os valores foram de R\$2.002,97 ha⁻¹ e R\$1.831,46 ha⁻¹ nos sistemas SC e AP. Comparando custos de técnicas sustentáveis e

aplicáveis em recuperação de áreas de pastagens em sistemas convencionais e de integração, Silva *et al.* (2019) encontraram valores variando de R\$1.795,28 ha⁻¹ e R\$8.778,39 ha⁻¹.

O custo de recuperação tende a ser maior em sistemas intensivos ou integrados. Dias-Filho (2017) explica que investimentos em “pastagens empresariais”, que adotam estratégia profissional e preventiva de manejo, a necessidade de recuperações ou reformas recorrentes da pastagem é praticamente eliminada. Nessa situação, o custo para manter essa pastagem pode ser 60% maior do que o custo para manter uma pastagem tradicional como nesse estudo, porém o retorno financeiro é compensador, girando em torno de R\$2,70 a mais para cada R\$1,00 investido.

A receita bruta, que representa diretamente o número de animais que poderiam ser vendidos (228,96 arrobas) ao valor de R\$217,74 @⁻¹, totalizou R\$49.853,75 para ambos sistemas (Tabela 4).

Tabela 4. Rentabilidade do custo operacional para recuperação de um ARGISSOLO sob pastagem *Urochloa brizantha* cv. Marandu (Selvíria (MS), 2015)

Discriminação	Valores	
	Sistema convencional	Agricultura de precisão
Receita bruta (R\$)	49.853,75	49.853,75
Custo total de produção (R\$)	47.156,61	46.602,21
Resultado operacional (R\$)	2.697,14	3.251,54
Índice de lucratividade (%)	5,41	6,52
Produção de equilíbrio (@)	217	214
Preço de custo @ ⁻¹ (R\$)	205,96	203,54

Fonte: Dados da pesquisa.

O resultado operacional, representado pela diferença entre a receita bruta e COT, foi de R\$2.697,14 e R\$3.251,54 para o SC e AP, respectivamente. Isso representa um índice de lucratividade de 5,41% no SC e 6,52% no AP. Isso quer dizer que, para o produtor pagar seus custos totais no SC, seria necessária uma produção equilíbrio de 217 arrobas. Já no sistema AP, seria necessária uma produção de 214 arrobas, para não incorrer em prejuízos à atividade. Aparentemente, os índices de lucratividade foram próximos em números relativos; entretanto, para a AP o índice foi superior em 20,5% ao apontado pelo SC.

Sendo assim, o sistema com agricultura de precisão, moderado pela geoestatística, mostrou-se rentável e que supostamente poderá tornar-se mais expressivo em maiores áreas de cultivo. Zimmer *et al.* (2012), estudando diferentes tratamentos para recuperação de pastagem com adubação, obtiveram menores margens líquidas (R\$363,00 a R\$418,51 ha⁻¹). Já Verdi (2018) avaliou a viabilidade econômica de sistemas de recuperação de pastagens degradadas e apresentou receitas de R\$675,00 ha⁻¹ em pastagens degradadas e R\$1.530,00 ha⁻¹ em pastagens recuperadas com custo de R\$3.007,38 ha⁻¹.

O preço médio da arroba mínimo para pagar os custos foi próximo entre os dois sistemas (R\$205,96 @⁻¹ para o SC e R\$203,54 @⁻¹ para o AP). O valor utilizado (R\$217,74 @⁻¹) cobre os gastos do produtor em ambos sistemas, visto pela valorização do preço pago ao produtor.

É conhecido que o preço de compra ou reposição dos animais trata-se do ponto chave para garantir melhor rentabilidade na pecuária. Dessa maneira, o produtor deve ficar atento às tendências do ciclo pecuário

para manter-se ativo e crescente na atividade; só assim ele saberá se o seu ciclo de produção trouxe bons resultados (BARBIERI; CARVALHO; SABBAG, 2016).

Apesar do retorno econômico ser parecido entre os dois sistemas, o AP pode se tornar maior nos anos seguintes. Resende e Coelho (2017) destacam que o mapeamento com emprego de grades amostrais apresenta imperfeições e a economicidade desse processo poderá inviabilizar a continuidade da AP em fertilidade do solo nos moldes atuais, à medida que os ganhos financeiros se tornem menos compensadores ao produtor após as primeiras intervenções. É sabido que, no tocante ao comportamento edáfico, a produtividade em diferentes partes de uma lavoura depende das características do terreno, como a posição do relevo, o tipo de solo, a textura e a capacidade de retenção de umidade, que interagem com a fertilidade química. No AP, o custo com amostragens foi alto (R\$460,00), porém, esse custo deve ser reduzido nos anos seguintes pelas técnicas geoestatísticas, uma vez que já são conhecidas as relações espaciais entre os atributos estudados.

Portanto, um diagnóstico preliminar das causas da variação da produtividade, considerando esses componentes, possibilita direcionar as amostragens, reduzir o número de pontos de coleta e otimizar os custos, além de melhorar a qualidade das informações expressas nos mapas de krigagem e aumentar a confiabilidade na tomada de decisão quanto ao manejo localizado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A agricultura de precisão e aplicação localizada de insumos são ferramentas indispensáveis para a otimização dos processos de produção agrícola e que já fazem parte do presente no cotidiano das atividades agrícolas brasileiras.

Em função da valorização da arroba no último ano, ambos os sistemas apresentaram retorno econômico viável segundo as estimativas empregadas nesse estudo, sendo o sistema AP com maior índice de lucratividade.

Ainda que inicialmente possa apresentar alto custo e conhecimento em sua forma de manejo, a tendência do mercado é de uma rápida evolução tecnológica e redução gradual de custos, o que irá garantir a viabilidade técnica e econômica da utilização dessas tecnologias.

Nesse sentido, quando se pretende implementar as técnicas de agricultura de precisão, normalmente se questiona sobre qual a expectativa de aumento da renda líquida se espera obter com a adoção dessa tecnologia, o que sugere pelo presente trabalho, comparando-se áreas cultivadas com agricultura de precisão com o sistema tradicional, obtendo-se resultados mais confiáveis e com melhores perspectivas em maiores áreas de cultivo de forma a aumentar a rentabilidade do sistema, o que sugere novas pesquisas na área econômica para expansão da agricultura de precisão no país.

6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. de C.; NOGUEIRA, S. F. Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 34-41, 2017.
- ANDRADE, I. R. A.; FURTADO, R. N.; SILVA, R. G.; POMPEU, R. C. F. F.; CÂNDIDO, M. J. D. Metodologias para avaliação econômica de sistemas de produção agropecuários. **Archivos de Zootecnia**, v. 67, n. 260, p. 610-620, 2018.
- ARAUJO, C. Custos: um desafio para a gestão no agronegócio. **Agribusiness Mackensie**. Artigos 2016. p. 28-33. Disponível em: <https://www.mackensie.com.br/artigos/custos-um-desafio-para-gestao-no-agronegocio/>. Acesso em: 11 nov. 2020.
- ARAÚJO, C. DE A.; CORREIA, I. R. DA C.; CARVALHO, C. C. N. DE; NUNES, F. C. Diagnóstico do grau de degradação de pastagem cultivada com Tifton 85 (*Cynodon dactylon*). **Diversitas Journal**, v. 3, n. 3, p. 530-538, 2018.
- BARBIERI, R. S.; CARVALHO, J. B. D.; SABBAG, O. J. Análise de viabilidade econômica de um confinamento de bovinos de corte. **Interações**, v. 17, n. 3, p. 357-369, 2016.
- BENETT, C. G. S.; BUZETTI, S.; SILVA, K. S.; BERGAMASCHINE, A. F.; FABRICIO, J. A. Produtividade e composição bromatológica do capim Marandu a fontes e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1629-1236, 2008.
- BRUMATTI, R. C.; FERRAZ, J. B. S.; ELER, J. P.; FORMIGONNI, I. B. Development of selection index in beef cattle under the focus of a bio-economic model. **Arch Zootec**, v. 60, p. 205-213, 2011.
- CAMARGO, F. A. O.; GIANELO, C.; TEDESCO, M. J. Nitrogênio orgânico do solo. In: CAMARGO, F. A. O.; SANTOS, F. A. (ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, p. 117-137, 1999.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA - ESALQ/USP). **Indicador do boi**. 2019. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/boi-gordo.aspx>. Acesso em: 27 jun. 2019.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA (CEPEA - ESALQ/USP). **Indicador do boi**. 2019. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/boi-gordo.aspx>. Acesso em: 05 nov. 2020.
- CORSI, M.; NUSSIO, G. Manejo do capim elefante: correção e adubação do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10., Piracicaba, 1992. **Anais [...]**. Piracicaba: FEALQ, 1993. 329p. p. 87-117.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um latossolo vermelho distroférico sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**. v. 43, p. 453-461, 2012.
- DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: o que é e como evitar**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 24p., 2017.
- DIAS FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 38p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, 2013. 20p.

EAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M.; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; VITOR, C. M. T.; MORAIS, R. V.; MISTURA, C.; REIS, G. C.; MARTUSCELLO, J. A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 397-403, 2005.

FOTH, H. D.; ELLIS, B. G. **Soil fertility**. 2nd ed. New York: Lewis Pub, 1996.

GASPAR, A. O.; BRUMATTI, R. C.; DIAS, A. M.; ARRUDA, L. A. Bioeconomic simulation of productive systems in beef cattle production activities which emphasis in maintenance and pasture recovery. **Arch. Zootec**. v. 66, n. 256, p. 485-490, 2017.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VIEIRA, S. R. **Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão**. In: BERNARDI, A. C. C. *et al.* Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa Instrumentação, cap. 5, 12, p. 74-83, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Selvíria. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/selviria/panorama>. Acesso em: 30 ago. 2019.

MACEDO, M. C. M. Recuperação de áreas degradadas: pastagens e cultivos intensivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 7., Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: SBSC, p. 71-72, 1993.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989. 292p.

MARTIN, N. B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M. D. M.; ANGELO, J. A.; OKAWA, H. Sistema Integrado de Custos Agropecuários - CUSTAGRI. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 28, n. 1, jan. 1998.

MATSUNAGA, M. P. F.; BEMELMANS, P. E. N.; TOLEDO, R. D.; DULLEY, H.; OKAWA, I. A.; PEDROSO. Metodologia de custo de produção utilizado pelo IEA. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 8. ed. Washington: National Academic Press, 2000. 248p.

NIKKEL, M.; LIMA, S. O. Distribuição espacial da matéria orgânica do solo sob o uso de diferentes pivôs centrais. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 3, p. 56-64, 2017.

OLIVEIRA, E. R. DE; REGO SILVA, J.; FERNANDES BAUMANN, L. R.; MIZIARA, F.; GUIMARÃES FERREIRA, L.; RODRIGUES DE OLIVEIRA MERELLES, L. Tecnologia e degradação de pastagens na pecuária no Cerrado brasileiro. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 626-638, 8 set. 2020.

PERON, A. J.; EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 3, p. 655-661, 2004.

RAIJ, B. VAN; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. rev. ampl. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação - IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

RESENDE, A. V.; COELHO, A. M. **Amostragem para o mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - IPNI, 2017. (Informações Agronômicas nº 159).

ROBERTSON, G. P. **GS+ : geostatistics for the environmental sciences - GS+ user´s guide**. Plainwell: Gamma Desing Software, 152p., 2004.

SALOMAO, P. E. A.; BARBOSA, L. C.; CORDEIRO, I. J. M. Recuperação de áreas degradadas por pastagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 2, e57922057, 2020.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A. C.; LEITE, R. L. L.; DIM, V. P.; NEVES NETO, D. N.; SILVA, J. E. C. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de Capim Marandu. **Bioscience Journal**, v. 28, Supplement 1, p. 41-53, 2012.

SILVA, P. C.; DINIZ, R. G.; FERREIRA, M. A. A.; SANTOS, D. J. O.; SANTOS, G.- O. Custos de técnicas sustentáveis e aplicáveis em recuperação de áreas de pastagens. **Revista Brasileira de Gestão ambiental e sustentabilidade**, v. 6, n. 14, p. 667-676, 2019.

SILVEIRA, J. P. F.; BRAZ, T. G. S.; BARBIERI, R. S.; CRUZ, T. N. M. **Considerações sobre o planejamento de sistemas rotativos**. In: SILVEIRA, J. P. F. *et al.* Estratégias para intensificar a produção de bovinos em pasto. São Carlos: Compacta, 2013. Cap. 2. p. 53-86.

VERDI, P. H. P. **Análise da viabilidade econômica de sistemas de recuperação de pastagens degradadas em solos arenosos**. 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Fundação Getúlio Vargas EESP/FGV, São Paulo, 2018.

WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 316p., 1990.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 248p., 2001.

ZEBU. Centro de Referência da Pecuária Brasileira. **Manejo e Recuperação de Pastagens**. 2015. Disponível em: <http://www.crpbz.org.br/Home/Conteudo/13879-Manejo-e-recuperacao-de-pastagens>. Acesso em: 07 mar. 2019.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. de. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Embrapa Gado de Corte, 2012. 42p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 189).