



Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



REDUÇÃO DE CUSTOS E DESPERDÍCIO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE DADOS ESTATÍSTICOS NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

REDUCING COSTS AND WASTE THROUGH ANALYSIS OF STATISTICAL DATA IN PRECISION AGRICULTURE

REDUCCIÓN DE COSTOS Y RESIDUOS MEDIANTE EL ANÁLISIS DE DATOS ESTADÍSTICOS EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN

Jener Augusto Bonani¹, Deivid Marques Nunes^{2*}, & Nilson José Fernandes³

^{1 2 3} Universidade Federal de Catalão - UFCAT

¹jenerb@discente.ufcat.edu.br ²nunesdm@ufg.br ^{3*}nilsonfernandes@ufcat.edu.br

ARTIGO INFO.

Publicado: 04.12.2024

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão; Fertilizantes; Insumos; Custos.

KEYWORDS: Precision agriculture; Fertilizers; Inputs; Cost.

PALABRAS CLAVE: Agricultura de precisión; Fertilizantes; Entradas; Costo.

*Autor Correspondente: Nunes, D. M.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a fertilidade do solo utilizando a agricultura de precisão e demonstrar a possibilidade de reduzir custos e quantidades de insumos aplicados. A metodologia deste estudo compara dois métodos de análise de solo: um utilizando a média na agricultura convencional e o outro a agricultura de precisão. Os resultados demonstram as diferenças nas tomadas de decisões entre os métodos. Utilizando a agricultura de precisão, observou-se uma economia de 19% nos custos com insumos analisados, além de um incremento na produção de 23,87% após apenas um ano de aplicação da técnica.

ABSTRACT

This study aims to analyze soil fertility using precision agriculture and demonstrate the possibility of reducing costs and quantities of applied inputs. The methodology of this study compares two soil analysis methods: one using the average in conventional agriculture and the other using precision agriculture. The results demonstrate the differences in decision-making between the methods. Using precision agriculture, a 19% saving in the costs of analyzed inputs was observed, in addition to an increase in production of 23.87% after only one year of applying the technique.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la fertilidad del suelo mediante agricultura de precisión y demostrar la posibilidad de reducir costos y cantidades de insumos aplicados. La metodología de este estudio compara dos métodos de análisis de suelo: uno que utiliza el medio en agricultura convencional y el otro en agricultura de precisión. Los resultados demuestran las diferencias en la toma de decisiones entre los métodos. Utilizando la agricultura de precisión se observó un ahorro del 19% en los costos de los insumos analizados, además de un aumento en la producción del 23,87% luego de apenas un año de aplicar la técnica.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento da população mundial, tem aumentado também a demanda por alimentos (Artuzo et al., 2017). Neste cenário, o Brasil tem se destacado pela alta produção de alimentos de origem animal e vegetal, sendo conhecido como o celeiro do mundo devido à quantidade e diversidade de alimentos (Alves et al., 2008).

O estado de Goiás desempenha um papel crucial para que o Brasil receba esse título, pois em seu solo são produzidas quantidades relevantes de diversos alimentos, tanto de origem animal quanto vegetal, com destaque especial para a soja (*glycine max*), uma commodity agrícola de importância mundial. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), entre as safras 2018/19 e 2019/20, houve um aumento na produção de soja de 8,8% em Goiás, o que equivale a 1.061,5 mil toneladas desse grão, enquanto a área de produção aumentou apenas 2%, totalizando 68,7 mil hectares. Isso resultou em um aumento de produtividade (produção/área) de 232 kg/ha de uma safra para outra (CONAB, 2020).

Esses incrementos de produtividade são consequência de investimentos em tecnologias e técnicas de manejo realizados pelos produtores rurais em suas propriedades. Entre esses investimentos, destaca-se a agricultura de precisão, que tem proporcionado excelentes resultados. Essa tecnologia, desenvolvida ao longo de mais de 20 anos, é hoje um pilar importante da agricultura sustentável (Coelho, 2005).

A agricultura de precisão utiliza análises estatísticas de dados obtidos por amostragens georreferenciadas para investigar diversos fatores que impactam diretamente ou indiretamente na produção das culturas analisadas. Essas informações, obtidas através de interpolação, representam uma área específica de cultivo, geralmente um talhão. A metodologia de amostragem varia de acordo com a cultura e/ou parâmetro avaliado.

A análise da fertilidade do solo é uma das principais aplicações dessa tecnologia. Através de amostragens georreferenciadas do solo e análises laboratoriais, é gerado um mapa de fertilidade que inclui fatores químicos e físicos do solo. Esse mapa possibilita um estudo nutricional detalhado, determinando exatamente o que e quanto é necessário para que a planta atinja seu máximo potencial produtivo (Coelho, 2005; Molin, 2015).

Assim, este trabalho busca destacar a importância da agricultura de precisão na gestão da fertilidade do solo, visando mitigar variações e resolver desafios enfrentados pelos produtores, além de aumentar a produção de alimentos. Esses aspectos fundamentam a relevância deste estudo, que se propõe a aplicar a agricultura de precisão na gestão da fertilidade do solo e demonstrar suas vantagens econômicas sobre os métodos tradicionais.

REFERENCIAL TEÓRICO

A agricultura de precisão teve início na Europa e nos Estados Unidos na década de 1980, com a criação de mapas de produtividade e aplicação de adubos em doses variadas. Com a adoção do GPS, essa técnica ganhou maior precisão e ampliou suas aplicações, impulsionando seu desenvolvimento. No Brasil, sua utilização começou em 1995 com a importação de máquinas equipadas com monitores de produtividade (MAPA, 2009).

Segundo o MAPA (2009), a agricultura de precisão compreende um conjunto de métodos que visam otimizar o cultivo e o uso de insumos agrícolas, reduzindo custos e aumentando a eficiência econômica. Molin (2015) complementa essa definição, descrevendo a agricultura de precisão como um conjunto de tecnologias voltadas para a melhoria da qualidade e produtividade das culturas, baseando-se no "potencial de resposta", que pode variar consideravelmente mesmo em pequenas distâncias.

Além disso, conforme mencionado por MAPA (2009), ao gerenciar as variações espaciais do solo através da agricultura de precisão, os produtores podem economizar insumos ou aumentar a produção, minimizando os impactos ambientais.

Para aplicar a agricultura de precisão, são utilizados softwares baseados na técnica de krigagem para interpolar dados e gerar informações que representem de forma precisa a realidade do talhão. A krigagem, iniciada em 1951 por Krige no estudo da concentração de ouro, utiliza a teoria das variáveis regionalizadas para estimar valores em pontos não amostrados, com base na correlação espacial das amostras (Grego et al., 2014).

Yamamoto e Landim (2013) definem a teoria das variáveis regionalizadas como uma representação estrutural para resolver problemas de estimativa, enquanto a geoestatística é um ramo da estatística que estuda variáveis regionalizadas com foco na localização geográfica e dependência espacial.

Landim (2006) exemplifica o uso da geoestatística na análise de amostras minerais, mostrando como a análise por blocos de amostras fundidas pode proporcionar estimativas precisas, essenciais para garantir a confiabilidade das previsões e otimizar os padrões de amostragem.

Portanto, os métodos centrais deste trabalho são a agricultura de precisão e a geoestatística. Essas ferramentas são fundamentais para alcançar o principal objetivo da pesquisa, que é reduzir custos e desperdício de insumos agrícolas através da agricultura de precisão, aliada à análise de dados das amostras coletadas pela geoestatística.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em uma área comercial de 22,28 hectares (228.000 m²), localizada no município de Catalão, na região sudeste do estado de Goiás, entre as coordenadas geográficas de latitude 18° 9' 57" S e longitude 47° 56' 47" O, a uma altitude de 835 metros, pertencente à Mesorregião Sul Goiana. O clima da região é tropical de altitude, caracterizado por duas estações bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril), com temperatura média anual de aproximadamente 22°C e pluviosidade média de cerca de 1.500 milímetros anuais (Prado, 2020).

Os solos presentes na área estudada são principalmente latossolos vermelho-amarelos eutróficos, além de litossolos, cambissolos háplicos e argissolos. O relevo é predominantemente plano, com áreas de chapada e veredas, conforme classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da EMBRAPA (Santos et al., 2018).

O manejo do solo e a aplicação de técnicas de agricultura de precisão começaram em janeiro de 2019, com previsão de conclusão em dezembro de 2022. A demarcação da área de 22,28 hectares foi realizada com o auxílio de um GPS de navegação Garmin, modelo eTrex Legend H, definindo-a como um talhão. A coleta de amostras de solo foi feita em duas etapas para análise de variabilidade e dependência espacial, associando cada amostra à sua posição ou coordenada espacial, respectivamente.

No Método 1 (agricultura convencional pela média), as amostras de solo foram coletadas aleatoriamente em três pontos distintos da área estudada, sem sub-amostragem, seguida de análise química para determinar a correção necessária do solo e a quantidade de insumos agrícolas requeridos.

No Método 2 (agricultura de precisão), a amostragem do solo foi realizada com base em um GRID, dividindo o talhão em quadrículas de três hectares cada. Foram definidos oito pontos amostrais georreferenciados dentro dessas coordenadas quadrículas. Cada ponto amostral consistiu na coleta de oito sub-amostras, retiradas na profundidade de 0-20 cm utilizando um trado manual.

Após a coleta, as amostras compostas foram homogeneizadas e etiquetadas com numeração específica gerada no georreferenciamento (geração do GRID amostral). Todas as amostras foram enviadas para análise laboratorial. A quantidade de sub-amostras coletadas determinou o nível de detalhamento da análise, sendo crucial coletar o maior número possível para garantir representatividade.

Com base nos resultados laboratoriais, foi realizada uma análise detalhada utilizando o método de krigagem (dados geoestatístico da agricultura de precisão). Esse método permitiu calcular a quantidade ideal de insumos agrícolas necessários para alcançar níveis ideais dos nutrientes analisados no solo. Os dados interpolados foram apresentados em um mapa de análise de dados de agricultura de precisão, indicando valores máximos, mínimos e médios dos nutrientes, além da quantidade total necessária de insumos para correção do solo em seus níveis críticos e ideais.

Comparando os resultados dos dois métodos de análise (agricultura convencional pela média e agricultura de precisão), foi calculada a quantidade e o custo dos insumos agrícolas necessários em cada abordagem. O cálculo considerou o valor do insumo agrícola e a dose requerida para correção do solo.

RESULTADOS

Neste item compara-se os resultados dos dois métodos de análise de solo: o convencional pela média (Método 1) e a agricultura de precisão (Método 2). Os resultados foram analisados para determinar a eficiência e economia de insumos agrícolas, com foco na correção de fósforo. Os resultados destacam o papel da Agricultura de Precisão na otimização sustentável da produção agrícola em Goiás.

MÉTODO 1: AGRICULTURA CONVENCIONAL PELA MÉDIA

Para esta análise, foi selecionada uma área de 22,28 hectares (222.800 m²), conforme mostrado na Figura 1 a seguir, localizada na parte sudoeste de Goiás. Dentro dessa área, foram coletados três pontos de forma aleatória, sem sub-amostragens.

Figura 1. Área analisada para a coleta de amostras



Fonte: Autores.

Após a coleta dos três pontos aleatórios, as amostras foram enviadas para o laboratório para caracterização das amostras (Tabela 1).

Tabela 1. Dados da Análise de Solo (Fonte: Dados da pesquisa)

id	Profundidade	Argila	MOS	CTC	P	V%	K	K%	Areia	Silte	K mg
1	0-20	67	1,2	6,06	8,3	49	0,21	3	22	11	64
2	0-20	59	2,2	4,5	10,1	47	0,15	3	19	22	59
3	0-20	55	2,3	4,24	8,2	43	0,12	3	33	12	58
Média:		60,33	1,90	4,93	8,87	46,33	0,16	3,00	24,67	15,00	60,33
Desvio padrão:		6,11	0,61	0,98	1,07	3,06	0,05	0,00	7,37	6,08	3,21

Fonte: Autores.

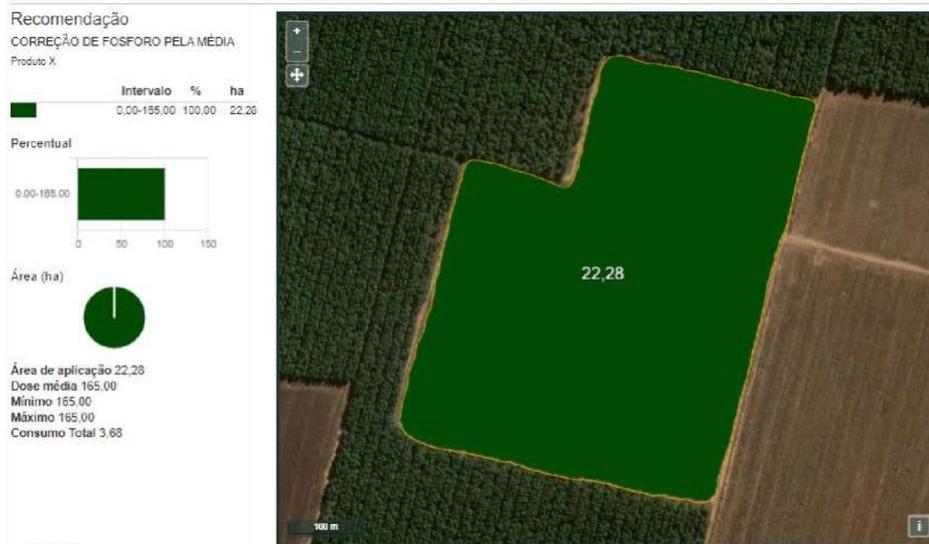
O insumo analisado para correção do solo foi o fósforo (P), com o nível crítico ideal considerado como sendo 21. Com base na média obtida, o cálculo para a utilização do insumo por hectare na área analisada é descrito na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Cálculo de Utilização de Insumo Agrícola

Cálculo da utilização de insumos por hectares	165	kg/ha
Total de insumo utilizado na área de 22,28ha	3,68	toneladas

Fonte: Autores.

Para visualizar a dose média do produto, foi gerado um mapa ilustrativo, como mostrado na Figura 2, o qual não necessita apresentar os pontos de aplicação dos produtos.

Figura 2. Mapa ilustrativo da utilização dos insumos na área de amostra

Fonte: Autores.

Calculando-se o custo dos insumos, com base na utilização do método de correção pela média, considerando o valor deste no mercado de R\$ 2.200,00 por tonelada na data do estudo, o agricultor necessita de 3,68 toneladas de insumos para a correção do solo por esta técnica, conforme apreentado na Tabela 2. Portanto, o gasto total para correção do solo nesta área, utilizando o método da média (agricultura convencional), seria de R\$ 8.096,00.

MÉTODO 2: AGRICULTURA DE PRECISÃO

Para o mesmo talhão utilizado na análise aleatória, que possui uma área de 22,28 hectares (222.800 m²), foi aplicado um GRID (divisão técnica da área de amostragem de solo) de três hectares (30.000 m²). Isso significa que a cada 30.000 m² foi realizada uma amostragem de solo (Figura 3).

Figura 3. Pontos amostrais de coleta de solo

Fonte: Autores.

Para esta análise, foram coletados um total de 8 pontos, conforme ilustrado na Figura 3. Cada ponto gerou uma amostra composta por 8 sub-amostras, coletadas em um raio de 50

metros, com um espaçamento entre pontos de 30.000 m² (GRID de 3 hectares). Após a coleta, todas as amostras foram enviadas para análise laboratorial (Tabela 3).

Tabela 3. Análise laboratorial ponto a ponto

id	Profundidade	Argila	MOS	CTC	P	V%	K	K%	Areia	Silte	K mg
1	0-20	65	2,6	5,75	12,9	51	0,22	4	17	18	86
2	0-20	63	2,9	7,91	13,7	66	0,25	3	15	22	96
3	0-20	60	3,1	6,78	15,3	60	0,16	2	20	20	63
4	0-20	68	3,2	7,01	12,1	59	0,20	3	18	14	80
5	0-20	70	3,4	6,29	12,1	40	0,13	2	20	10	51
6	0-20	59	2,7	6,74	11,6	58	0,20	3	25	16	79
7	0-20	65	2,2	6,51	12,0	53	0,25	4	15	20	97
8	0-20	58	2,4	6,57	14,3	51	0,23	4	10	32	88
Média		53,50	2,81	6,70	13,00	54,75	0,21	3,13	17,50	19,00	80,00
Desvio padrão		4,31	0,41	0,62	1,31	7,85	0,04	0,83	4,44	6,50	15,93

Fonte: Autores.

Utilizando a mesma referência de correção (análise de fósforo), o cálculo foi realizado por software de análise estatística, utilizando interpolação por krigagem para determinar a quantidade necessária de insumos para correção do solo aos níveis ideais. A Figura 4 mostra o mapa de interpolação utilizado na máquina para aplicação da taxa variável do produto.

Figura 4. Mapa de interpolação por Krigagem para determinação dos insumos para correção do solo



Fonte: Autores.

Já a Tabela 4 apresenta os valores obtidos após interpolação ponto a ponto dos resultados da análise laboratorial.

Tabela 4. Resultados da Análise

Doses	Valor
Máxima	142,42 kg/ha
Mínima	119,06 kg/ha
Média	133,33 kg/ha
Total	2,97 toneladas

Fonte: Autores.

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Com base nos resultados, determinou-se a demanda de 2,97 toneladas de insumos para a correção do solo, conforme indicado na Tabela 4. Com o custo estimado de R\$ 2.200,00 por tonelada, o gasto total utilizando a agricultura de precisão é de R\$ 6.534,00.

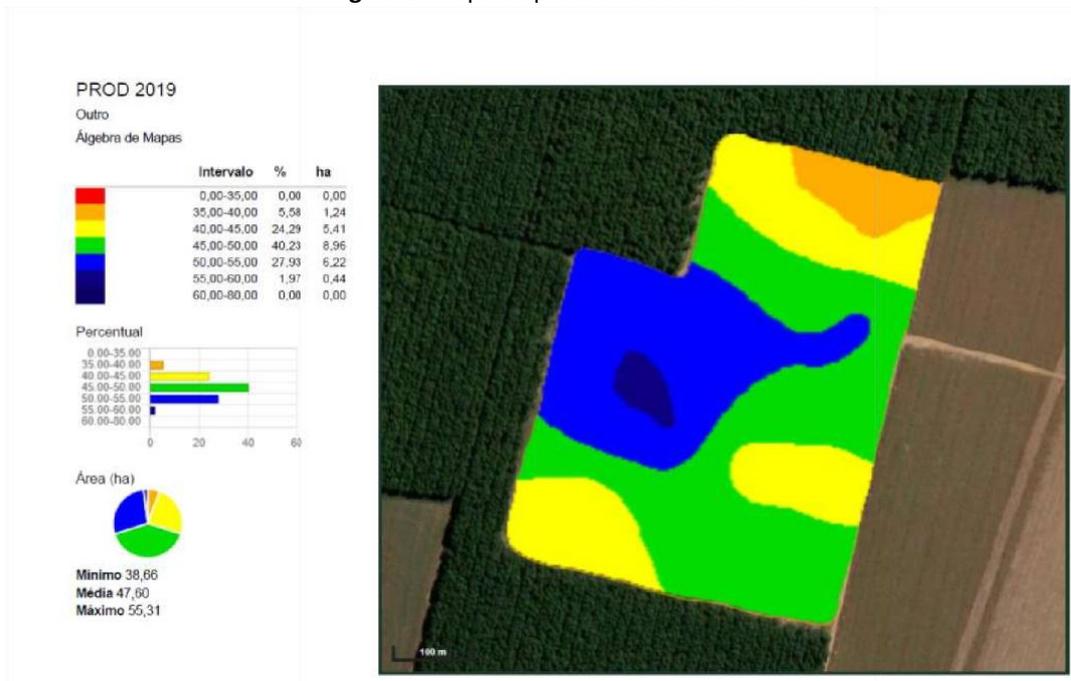
Para apresentar a porcentagem de economia entre os métodos, observa-se a Tabela 5.

Tabela 5. Porcentagem de economia

Tipo	Produto	Valor R\$
Método 1	3,68	8.096
Método 2	2,97	6.534
Economia com insumos	19 %	19 %

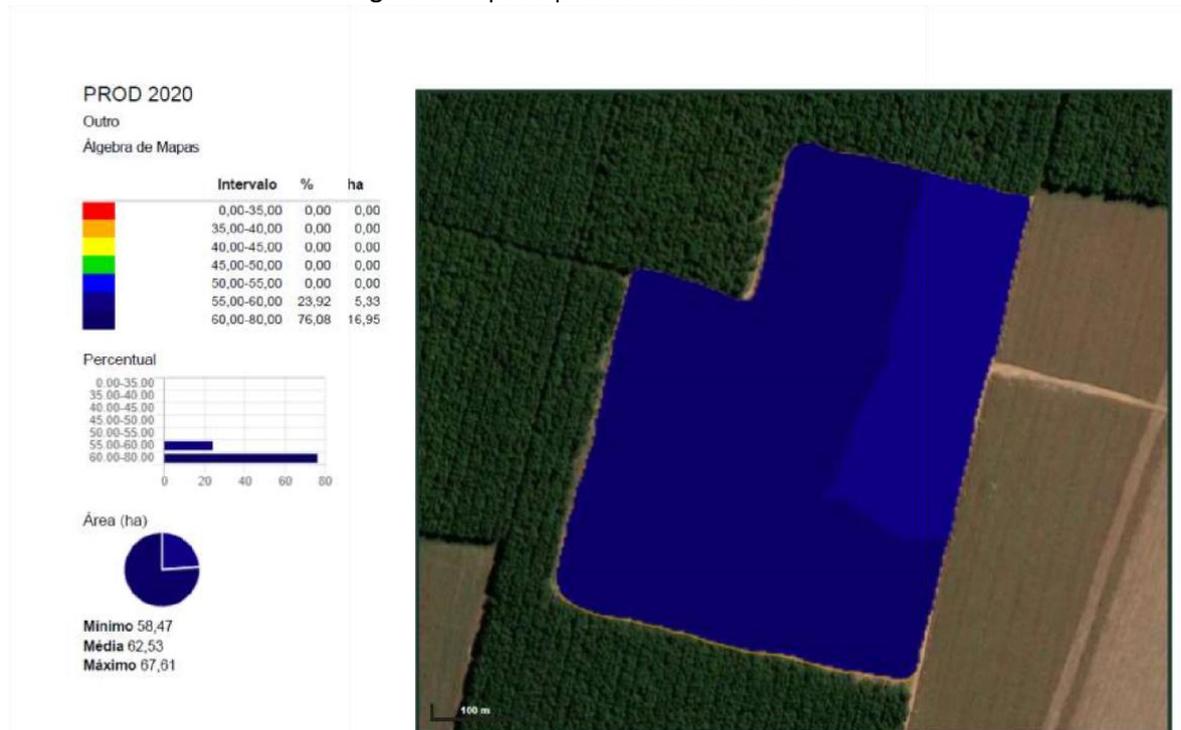
Fonte: Autores.

Os mapas de produtividade foram gerados pelo GPS da colheitadeira durante as safras de 2019-2020 e 2020-2021, destacando o aumento no potencial produtivo da terra. As Figuras 5 e 6 seguir apresentam os mapas correspondentes.

Figura 5. Mapa de produtividade 2019-2020

Fonte: Autores.

Figura 6. Mapa de produtividade 2020-2021



Fonte: Autores.

Após a análise dos dados dos mapas de colheita (Figuras 5 e 6), observa-se que a produção média de soja na safra de 2019-2020 foi de 47,60 sacas por hectare, enquanto na safra de 2020-2021 houve um aumento de 23,87%, alcançando 62,53 sacas por hectare. Esse crescimento foi registrado após apenas um ano de aplicação, com a expectativa de atingir a produção máxima após três anos de correção de fertilizantes no solo com esta metodologia (agricultura de precisão).

CONCLUSÃO

Recentemente, a implementação de técnicas de engenharia de produção no mercado agrícola tem ganhado popularidade devido à melhoria na previsão da produção, no mercado e na qualidade do solo, resultando em um melhor retorno financeiro para os agricultores.

Neste estudo, foi proposta uma análise comparativa do mesmo solo utilizando dois métodos distintos, com o objetivo de identificar qual deles proporcionaria maior vantagem econômica. Após a aplicação dos métodos (convencional e agricultura de precisão), verificou-se que houve uma economia percentual de 19% com o método 2 (agricultura de precisão) em relação ao método 1 (convencional).

Quanto à produtividade, observou-se um aumento de 24% ao comparar os dois métodos. Conclui-se, portanto, que o método 2, que utiliza taxa variável, é superior, pois não apenas reduziu o consumo de insumos (fertilizantes), mas também aumentou a produtividade em sacas de soja por hectare, resultando em maior rentabilidade na área aplicada.

Os resultados alcançados neste estudo são satisfatórios, destacando-se ainda que uma produção superior pode ser esperada nos próximos três anos subsequentes à implementação da agricultura de precisão.

REFERÊNCIAS

- Alves, E. R. A., Coltini, E., & Gsgues, j. G. (2008). Evolução da produção e produtividade da agricultura brasileira. Embrapa.
- Artuzo, F. D., Foguesatto, C. R., & Silva, L. X. (2017). Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. Revista Tecnologia e Sociedade. Porto Alegre - RS.
- MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2009). Agricultura de precisão. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. – Brasília – DF.
- Ceolho, A. M. (2005). Agricultura de Precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Embrapa. Sete Alagoas - MG.
- CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. (2020). Acompanhamento da safra brasileira grãos, v. 8 – Safra 2019/20 – Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-62, setembro. Recuperado de <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos>
- Grego, C. R., Oliveira, R. P., & Vieira, S. R. (2014). Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. Embrapa. Campinas - SP.
- Landim, P. M. B. (2006). Sobre Geoestatística e mapas. *Terræ Didática*, 2(1), 19-33. Rio Claro - SP.
- Molin, J. P. (2015). Agricultura de precisão. 1. ed. -- São Paulo: Oficina de Textos.
- Prado, L. F. (2020). Avaliação Físico-Química da Qualidade ea Água Pluvial em Catalão (GO). Catalão - GO.
- Santos, H. G., Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C., Oliveira, V. A., Lumberras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A., Araujo Filho, J. C., Oliveira, J. B., & Cunha, T. J. F. (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Embrapa Brasília – DF.
- Yamamoto, J. K. & Landim, P. M. B. (2013). Geoestatística Conceito e Aplicações. Oficina de Textos. São Paulo - SP.
-