

## CORRELAÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA SOJA COM OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E O NDVI

Samela Caroline Campos Camuci Santos<sup>1</sup>, Luana Marques Pereira<sup>1</sup>, Jackeline Matos do Nascimento<sup>2</sup>, Mateus Luiz Secretti<sup>3</sup>

**RESUMO** – O entendimento da variabilidade dos atributos químicos do solo é fundamental para verificar a alteração de rendimento e aprimorar o manejo em áreas de cultivos agrícolas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade da soja através da elaboração de mapa de produtividade e a correlação entre a variabilidade dos atributos químicos do solo e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) na cultura da soja. A área experimental localiza-se no município de Douradina-MS. Através do aplicativo para iOS – SIRRUS realizou a demarcação da área de 45,32 ha, com uma grade amostral de 1 ponto a cada 3 hectares, num total de 16 pontos amostrais. Foi realizada a coleta do solo na camada de 0-20 cm de profundidade, onde foram analisados os teores de Cálcio, Fósforo, Potássio, Magnésio, Capacidade de Troca de Cátions, Acidez Potencial, Potencial Hidrogeniônico Saturação por Bases e Matéria Orgânica. Quando a cultura atingiu o ponto de colheita, foram colhidas 1,35m<sup>2</sup> de amostras de soja, para determinar a umidade dos grãos colhidos e a produtividade da cultura e, posteriormente a umidade dos grãos foi corrigida a 13%. Os dados foram submetidos a estatística descritiva, geoestatística, e correlação de Pearson. Todos os atributos químicos e produtividade da soja apresentaram forte dependência espacial, entretanto o Fósforo e a Capacidade de Troca de Cátions mostraram dependência espacial moderada. O pH e a produtividade obtiveram correlação negativa e apenas o Magnésio teve correlação positiva e significativa com o NDVI.

**Palavras-Chave:** Agricultura de precisão. Índice de vegetação. Dependência espacial. *Glycine max*.

## SOYBEAN PRODUCTIVITY MAPPING AND CORRELATION BETWEEN CHEMICAL SOIL PROPERTIES AND NDVI

**ABSTRACT** – The understanding of soil properties variability is essential in order to verify its yield and improve soil management in agricultural areas. This study aims to evaluate soybean crop productivity through the elaboration of a productivity map and the correlation between soil properties variability and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The experiment was conducted in Douradina, Mato Grosso do Sul state. There were created 16 sample points in the total area of 45.32 hectares, 1 point at each 3 hectares. The iOS application SIRRUS was used in order to define those points. The following variables were analyzed in soil samples collected at 0-20 cm horizon depth: calcium, phosphorus, potassium, magnesium content, cation-exchange capacity, potential acidity, potential of hydrogen (pH), base-cation saturation rate, and organic matter. When the harvesting stage was reached, 1.35 square meters were harvested aiming to define the grain humidity and the crop productivity. The grain humidity was, after, corrected to 13%. The data was summarized and organized through descriptive statistics, geostatistics, and Pearson correlation. All soil properties and crop productivity presented strong spatial dependence; however, phosphorus content and cation-exchange capacity presented moderate spatial dependence. Potential of hydrogen and crop productivity presented negative correlation, and only magnesium presented positive and significant NDVI correlation.

**Keywords:** Precision agriculture. Vegetation index. Spatial dependence. *Glycine max*.

<sup>1</sup> Discentes do curso de Agronomia (UNIGRAN). E-mails: samela\_camuci@hotmail.com; luhmarques99@gmail.com

<sup>2,3</sup> Docentes do curso de agronomia (UNIGRAN). E-mails: jackeline\_ms@yahoo.com.br; mateussecretti@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

A Soja (*Glycine max L. Merrill*) é uma das culturas mais antigas e cultivadas no Brasil e no mundo, sendo um produto indispensável na indústria alimentícia e na formulação de ração para criação de animais (OLIVEIRA et al. 2015). Segundo a CONAB (2021) a área plantada da soja 2020/21 cresceu 4,2% em relação à safra 2019/2020, mantendo o Brasil como o maior produtor mundial, com uma produção de 135,4 milhões de toneladas do grão.

De acordo com Giotto et al. (2013) a agricultura de precisão é importante para a pesquisa agrônômica moderna, uma vez que, em conjunto com outras ferramentas nos auxilia no aumento da produtividade das áreas, reduzindo o custo de cultivo e otimizando os resultados econômicos. Podemos utilizar a agricultura de precisão para detectar as zonas de maiores variabilidades nas áreas, seja no solo, pragas presentes na cultura ou deficiências nutricionais nas plantas, e com isso realizar uma aplicação localizada de correção de fertilidade e pulverização, fazendo com que o meio ambiente não seja prejudicado, o que resulta um novo conceito de conduzir e gerenciar a agricultura moderna.

O mapa de produtividade é o ponto inicial para que se possa realizar a aplicação de técnicas de Agricultura de Precisão. Esses mapas auxiliam nas tomadas de decisões de recomendações de nutrientes ausentes, baseados na exportação pela colheita, aprimoram a recomendação de fertilizantes em taxas variáveis e mostram as unidades de gestão diferenciadas (UGD) da lavoura, as UGD são locais dentro das lavouras que apresentam mínimas variabilidade espacial e temporal (MALDANER et al. 2019). A produtividade dos cultivos agrícolas, pode ser afetada diretamente pelos diversos fatores ambientais e climáticos como a luz, umidade e a temperatura, além de ser influenciada pelas características genéticas (FIORESE, 2013).

Segundo Shiratsuchi et al. (2014) o sensoriamento remoto é uma ferramenta usada na coleta de informações, sem entrar em contato direto com o alvo, essas informações podem ser obtidas através de imagens de satélites, máquinas agrícolas, aeronaves e drones. Podemos aplicar o sensoriamento remoto na estimativa da biomassa e produtividade de uma cultura, para que sejam tomadas decisões de manejo, comercialização e para que se tenha uma expectativa de lucros.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), é um dos mais utilizados para monitoramento agrícola, pois apresenta uma forte correlação linear com o crescimento das culturas (SHIRATSUCHI et al. 2014).

As características da reflectância nas faixas do espectro eletromagnético podem ser melhor avaliada mediante a combinações matemáticas de bandas espectrais diferentes, e essas transformações são dimensionadas através da atividade da vegetação e utilizam em especial as faixas do visível e infravermelho próximo (NIR) e são denominados de índices de vegetação (ATZBERGER, 2013). Através de imagens obtidas por satélites, como o Landsat-8, as informações do índice de vegetação da diferença normalizada são retiradas das imagens orbitais possibilitando estimar a relação entre o NDVI e a produtividade (ROMANSINI et al. 2020).

Logo, o objetivo do trabalho foi avaliar a correlação entre a produtividade da de soja, e sua correlação com atributos químicos do solo e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Laranja Doce, no município de Douradina-MS. O local situa-se em latitude de 21°57'33.67"S, longitude de 54°31'29.37"W e altitude de 293 metros, onde o clima predominante é o Mesotérmico úmido, do tipo Cwa, com temperaturas de 20 a 24 °C e precipitação de 1250 a 1500 mm média anual variando (ALVARES et al. 2013).

A geração da malha amostral foi realizada. A área experimental de 45,32 hectares, obtendo-se a malha amostral através do aplicativo SIRRUS para coleta de solo e amostras da soja. A densidade amostral foi 1 ponto a cada 3 hectares, totalizando 16 amostras. A coleta de solo foi realizada a partir da distribuição dos pontos, na profundidade de 0-20cm, utilizando um trado de rosca motorizado.

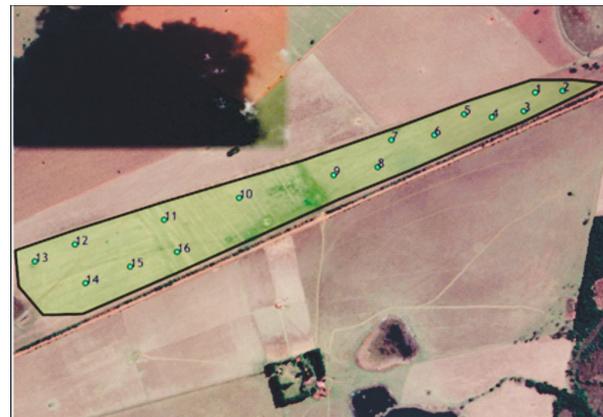


Figura 1 - Área experimental e pontos georreferenciados.

Posteriormente as amostras foram homogeneizadas e colocadas em sacos plásticos devidamente identificados e enviadas ao laboratório para análise química, onde foi realizada a avaliação dos atributos: Ca (Cálcio), P (Fósforo), K (Potássio), Mg (Magnésio), CTC (Capacidade de Troca de Cátions), H+Al (Acidez Potencial), pH CaCl<sub>2</sub> (Potencial Hidrogeniônico), V% (Saturação por Bases) e MO (Matéria Orgânica).

Utilizando os dados da análise química obtida no laboratório foram gerados os mapas de fertilidade para a correção do solo em cobertura. No dia 23 de outubro de 2020 foi realizada a semeadura da soja, utilizando a cultivar BRASMAX FIBRA IPRO (64161RSF IPRO) sendo distribuídas 12 sementes por metro, com uma população de 250.000 plantas por hectare, com 300 kg de adubação do formulado 4-30-10 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de Cloreto de Potássio em cobertura.

Após a emergência das plantas, a área foi acompanhada a cada 15 dias, realizando-se todos os tratamentos culturais necessários de acordo com o estágio de desenvolvimento da cultura, verificação das condições climáticas. As imagens para elaboração do mapa de NDVI foram adquiridas através do satélite Landsat-8 no site do United States of Geological Survey - EarthExplorer (USGS, 2021), durante a fase V8 da cultura.

Fórmula matemática do NDVI segundo Rouse et al. (1973):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada;

NIR = Infravermelho Próximo;

RED = Vermelho.

Após a cultura atingir o ponto de colheita foi realizada a coleta manual da soja para a obtenção da produtividade da área experimental, sendo colhido 1,35m<sup>2</sup> em cada um dos 16 pontos. As amostras coletadas foram identificadas em todos os pontos georreferenciados, e posteriormente foi feito o processo de trilhagem, isto é, separar os grãos das vagens e logo após o teor de umidade foi corrigido a 13%.

Realizou-se a estatística descritiva, analisando-se os valores médios, mínimo e máximo, distribuição de frequência dos dados, coeficiente de variação (CV), assimetria e curtose e correlação de Pearson. Dados referentes a geoestatística para a confecção dos mapas, sendo feita a validação dos modelos matemáticos através dos programas computacionais ARCGIS 10.1 e GS+ 7.0.

Os modelos de semivariogramas foram escolhidos de acordo com o maior coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) e menor soma de quadrados do resíduo (SQR), calculando-se assim o Grau de Dependência Espacial proposto por Cambardella et al. (1994) que é dado através da fórmula:

$$\text{GDE} = \left[ \frac{\text{Co}}{\text{Co} + \text{C}} \right] * 100$$

Onde:

GDE = Grau de Dependência Espacial;

Co = Efeito Pepita;

Co + C = Patamar.

Os programas utilizados foram o ARCGIS 10.1 (ESRI, 2021) para confecção de mapas de produtividade e fertilidade, através deste programa foi obtido dados da estatística descritiva como (média; desvio padrão; coeficiente de variação; valor mínimo; valor máximo; coeficiente de assimetria; e coeficiente de curtose). Posteriormente foi usado o GS + 7.0 (Gamma Design Software), para realização da geoestatística (modelo de semivariograma; efeito pepita; patamar; grau de dependência espacial; alcance; coeficiente de determinação; e soma de quadrado de resíduo). Além do programa computacional QGIS Desktop versão 2.18.0 para geração do mapa de NDVI da cultivar de soja.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na classificação de interpretação química de Souza e Lobato (2004) e dos valores obtidos através da média verificou-se que o Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Potencial Hidrogeniônico em Cloreto de Cálcio (pH CaCl<sub>2</sub>), e Saturação por Bases (V%), estão presentes no solo em teores adequados, enquanto o Fósforo (P) apresentou baixo teor e o Potássio (K) e Matéria Orgânica (MO) houve teores altos. De acordo com Silva (2018) a Acidez Potencial (H+Al) apresentou baixo teor (Tabela 1). A relação de Cálcio: Magnésio é igual a 3:1 sendo considerada adequada para a cultura conforme Souza & Lobato (2004).

Os valores de Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Potencial Hidrogeniônico (pH CaCl<sub>2</sub>) apresentaram baixo coeficiente de variação, o que mostra uma ótima homogeneidade na distribuição dos dados, enquanto a Saturação por Bases (V%) e Matéria Orgânica (MO) indicaram valores médios, Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Acidez Potencial (H+Al) valores altos, e Fósforo (P) e Potássio (K) muito alto (Dalchiavon et al. 2012). Também foi encontrado alto valor de Coeficiente de Variação (CV) para Fósforo (P) no estudo realizado por Naka (2019)

que explica que a causa desse alto valor de coeficiente de variação se deve a aplicação de fertilizantes em linha, ao

efeito residual da adubação e a exposição á camadas pobres desse nutriente através da erosão superficial.

Tabela 1 - Estatística descritiva para os atributos químicos do solo

| Variável                          | Média  | Desvio Padrão | CV%  | Mínimo | Máximo | Assimetria | Curtose |
|-----------------------------------|--------|---------------|------|--------|--------|------------|---------|
| Ca <sup>1</sup>                   | 24,44  | 5,73          | 23,4 | 13,1   | 37,2   | 0,20       | 3,32    |
| P <sup>2</sup>                    | 8,75   | 8,60          | 98,2 | 2,63   | 38,51  | 2,72       | 10,22   |
| K <sup>1</sup>                    | 80,5   | 37,85         | 47,0 | 34     | 161    | 0,90       | 2,51    |
| Mg <sup>1</sup>                   | 7,98   | 2,21          | 27,8 | 4,1    | 12,1   | 0,39       | 2,79    |
| CTC <sup>1</sup>                  | 59,3   | 5,05          | 8,5  | 53,2   | 72,4   | 1,27       | 4,00    |
| H+Al <sup>1</sup>                 | 24,81  | 6,56          | 26,4 | 19     | 45,7   | 2,09       | 7,45    |
| pH CaCl <sub>2</sub> <sup>2</sup> | 5,48   | 0,37          | 6,8  | 4,4    | 5,9    | 1,55       | 5,40    |
| V%                                | 57,87  | 11            | 19,0 | 28,82  | 73,76  | 1,06       | 4,10    |
| MO <sup>3</sup>                   | 19,94  | 3,23          | 16,2 | 15,28  | 27,02  | 0,59       | 2,76    |
| Produção <sup>4</sup>             | 2205,6 | 680,06        | 30,8 | 1466,7 | 3555,6 | 0,75       | 2,35    |

<sup>1</sup>mmol dm<sup>-3</sup>; <sup>2</sup>mg.dm<sup>-3</sup>; <sup>3</sup>g.dm<sup>-3</sup>; <sup>4</sup>kg ha<sup>-1</sup>; CV: Coeficiente de Variação.

Todos os atributos apresentaram distribuição assimétrica positiva à direita concordando com (ZANÃO JUNIOR et al. 2010), neste caso a moda tem o valor maior que a média, logo constata-se que há valores que ocorrem com maior frequência no conjunto. Silva et al. (2010) que descrevem que distribuição mesocúrtica se o valor de curtose for igual a zero, distribuição platicúrtica se o valor de curtose for menor que zero e distribuição leptocúrtica se o valor de curtose for maior que zero. Quanto ao coeficiente de curtose caracteriza a forma da distribuição de frequências quanto a sua dispersão. Todos os atributos químicos apresentaram coeficiente de curtose com distribuição leptocúrtica, pois os valores de curtose são maiores que zero.

Na Tabela 2 estão descritos os dados referentes a dependência espacial dos atributos químicos do solo e produtividade da soja, assim como os modelos ajustados pelos semivariogramas. As variáveis Cálcio (Ca), Potássio (K), Acidez Potencial (H+Al), Potencial Hidrogeniônico (pH CaCl<sub>2</sub>) e Saturação por Bases (V%), foram ajustadas ao modelo esférico, Magnésio (Mg), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e Matéria Orgânica (MO) ao modelo gaussiano, Fósforo (P) ao modelo linear e a Produção ao modelo exponencial. A escolha do modelo matemático foi realizada através do maior Coeficiente de Determinação (R<sup>2</sup>) e menor Soma de Quadrado de Resíduo (SQR), ou seja, quanto maior o valor de R<sup>2</sup> e menor a SQR, melhor o modelo do semivariograma e mais preciso será o ajuste dos dados (LIMA et al. 2010).

As variáveis Fósforo (P) e Capacidade de Troca de Cátions (CTC) apresentaram moderada dependência espacial. Os demais parâmetros tiveram forte dependência espacial, ou seja, são mais influenciadas por características intrínsecas do solo, como clima, relevo, e material de origem segundo Cambardella et al. (1994). A presença de dependência espacial mostra que a malha utilizada e as distâncias entre os pontos foram suficientes para o estudo da variabilidade espacial da área. O grau de dependência espacial está associado pela razão entre o efeito pepita e o patamar  $Co/(Co + C)$ , sendo considerado como forte quando o efeito pepita for menor ou igual a 25 % do patamar; moderada dependência espacial entre 25 e 75%; fraca dependência espacial quando estiver entre 75 e 100%; e se for igual a 100% é considerado independente espacialmente, conhecido também como efeito pepita puro (CAMBARDELLA et al. 1994).

As variáveis Fósforo (P) e Capacidade de Troca de Cátions (CTC) apresentaram moderada dependência espacial. Os demais parâmetros tiveram forte dependência espacial, ou seja, são mais influenciadas por características intrínsecas do solo, como clima, relevo, e material de origem segundo Cambardella et al. (1994). A presença de dependência espacial mostra que a malha utilizada e as distâncias entre os pontos foram suficientes para o estudo da variabilidade espacial da área. O grau de dependência espacial está associado pela razão entre o efeito pepita e o patamar  $Co/(Co + C)$ , sendo considerado como forte quando o efeito pepita for menor ou igual a 25 % do



patamar; moderada dependência espacial entre 25 e 75%; fraca dependência espacial quando estiver entre 75 e 100%; e se for igual a 100% é considerado independente

espacialmente, conhecido também como efeito pepita puro (CAMBARDELLA et al. 1994).

Tabela 2 - Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as variáveis atributos químicos do solo.

| Variável              | Modelo      | Co     | Co + C | GDE% | A (m)   | R <sup>2</sup> | SQR     |
|-----------------------|-------------|--------|--------|------|---------|----------------|---------|
| Ca <sup>1</sup>       | Esférico    | 7,81   | 32,96  | 19,1 | 383,00  | 0,088          | 1535    |
| P <sup>2</sup>        | Linear      | 66,85  | 104,99 | 38,9 | 921,64  | 0,015          | 78299   |
| K <sup>1</sup>        | Esférico    | 0,001  | 0,888  | 0,1  | 125,00  | 0,001          | 1,48    |
| Mg <sup>1</sup>       | Gaussiano   | 2,26   | 24,51  | 8,4  | 1660,00 | 0,586          | 28,0    |
| CTC <sup>1</sup>      | Gaussiano   | 18,05  | 36,11  | 33,3 | 336,00  | 0,171          | 1192    |
| H+Al <sup>1</sup>     | Esférico    | 9,45   | 31,13  | 23,2 | 458,00  | 0,038          | 3715    |
| pH CaCl <sup>2</sup>  | Esférico    | 0,005  | 0,102  | 5,2  | 450,00  | 0,089          | 0,0303  |
| V%                    | Esférico    | 11,90  | 98,50  | 10,7 | 403,00  | 0,113          | 16198   |
| MO <sup>3</sup>       | Gaussiano   | 4,57   | 18,00  | 20,2 | 408,00  | 0,613          | 125     |
| Produção <sup>4</sup> | Exponencial | 176000 | 808400 | 17,8 | 2110,00 | 0,126          | 2,9E+11 |

Co: Efeito Pepita; C0 + C: Patamar; GDE: Grau de Dependência Espacial; A: Alcance; R<sub>2</sub>: Coeficiente de Determinação; SQR: Soma de Quadrado de Resíduo.

O alcance (A) é a máxima distância que as amostras estão associadas espacialmente, isto significa que medições maiores que o alcance se tornam independentes entre si, e por esse motivo tem distribuição espacial aleatória. Sendo considerado um parâmetro que auxilia no estudo dos semivariogramas, contribuindo para que os pontos próximos sejam semelhantes para estimar valores entre eles (MACHADO et al. 2007). Constata-se que o maior alcance foi de 2110 metros para produtividade da soja e entre os atributos químicos o maior foi de 1660 metros para Magnésio (Mg), e o menor alcance encontrado foi para o Potássio (K) com 125 metros, essas distâncias foram superiores às encontradas por Londero et al. (2020). O alcance permite diminuir o erro padrão da média e também a quantidade de pontos amostrais a serem coletados na próxima amostragem. Após a geoestatística ser realizada os mapas dos atributos químicos foram confeccionados e estão na Figura 2.

Na Figura 3 estão representados os resultados da produtividade na qual a cultura da soja apresentou média, mínima e máxima de 2205,6 kg ha<sup>-1</sup>, 1466,7 kg ha<sup>-1</sup> e 3555,6 kg ha<sup>-1</sup> respectivamente, equivalentes entre 24 e 59 sacas por hectare.

Em comparação com o estudo realizado por Castro et al. (2015) sobre cultivares convencionais e transgênicas em área de abertura de cerrado, houve variações de 36 e 37 sacas por hectare e foram consideradas dentro da média para área de abertura de cerrado.

Considerando que foi utilizada área de abertura, a produtividade dos grãos entre 24 a 59 sacas por hectare, apresentou um bom potencial de rendimento, mostrando estar na média para área de abertura.

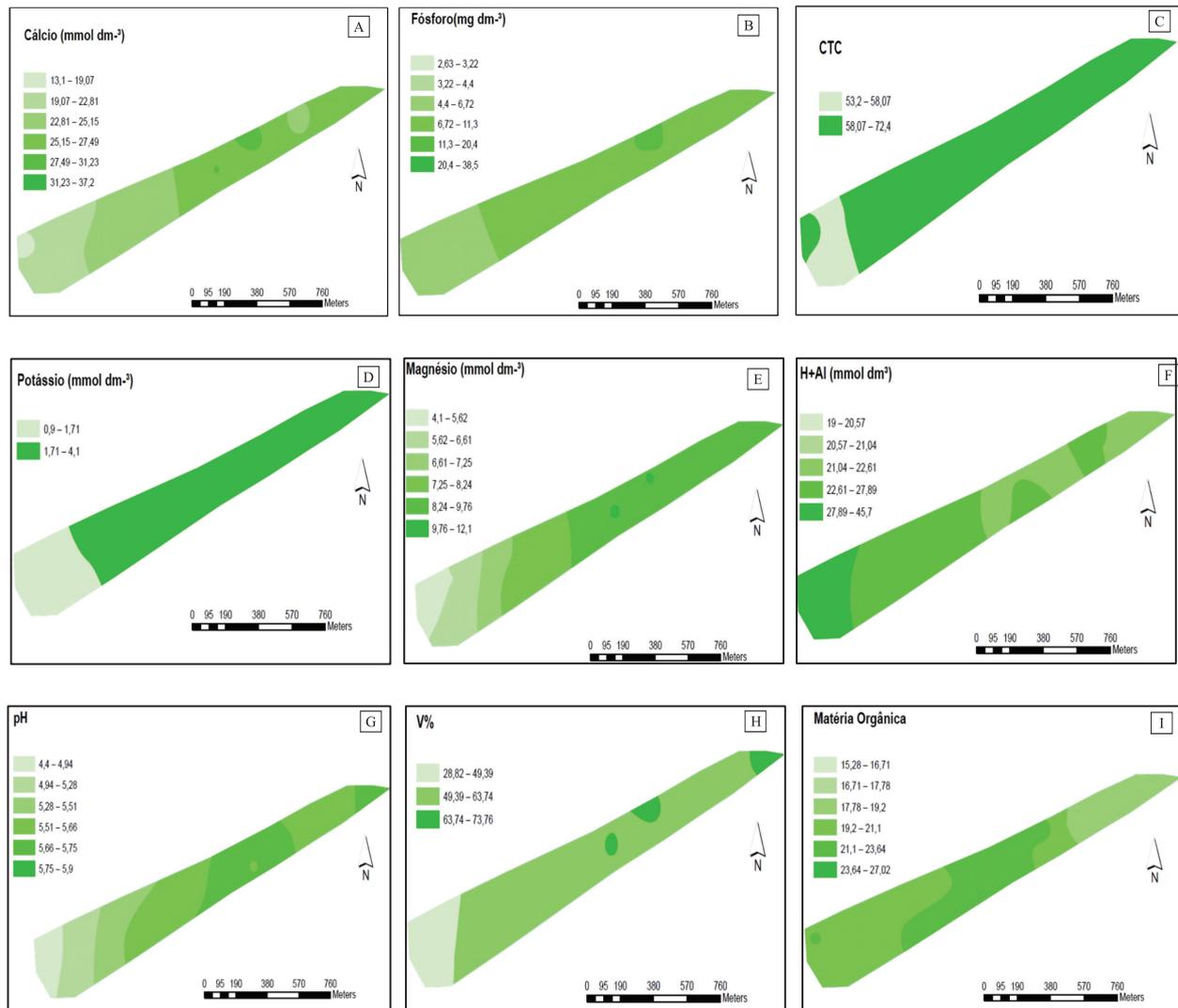


Figura 2 - Mapas de Cálcio (A); Fósforo (B); Potássio (C); Magnésio (D); Capacidade de Troca de Cátions (E); Acidez Potencial (F); Potencial Hidrogeniônico (G); Saturação por Bases (H) e Matéria Orgânica (I).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) (Figura 4) é o mais conhecido e discutido entre os índices de vegetação, sendo relacionado especialmente com a quantidade de biomassa vegetal, e ainda existem variações que tem o intuito de transforma-lo em mais sensetivo a outros parâmetros, entre eles o teor de clorofila nas folhas (MOLIN et al. 2015).

De acordo com Trindade et al. (2019) os estádios do ciclo fenológico V5, R1 e R2 são os mais adequados para detectar o reflexo das condições de solo, e demais fatores que causam possíveis alterações espectrais na cultura da soja.

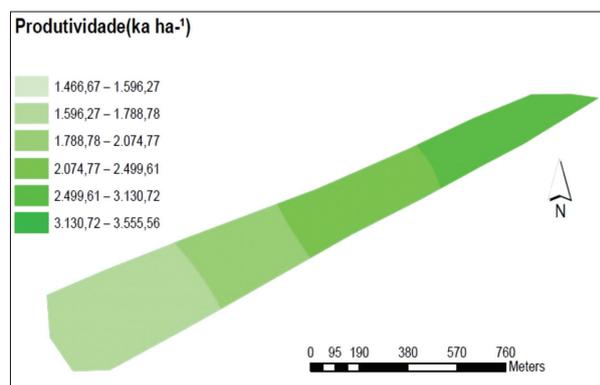


Figura 3 - Mapa de produtividade ( $\text{Kg ha}^{-1}$ )



Figura 4 - Mapa do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada da cultura da Soja em 26 de Novembro de 2020.

Os coeficientes de correlação entre as variáveis e o índice de vegetação da diferença normalizada estão descritos na Tabela 3. Apenas Acidez potencial, pH e V% apresentaram correlação significativa, sendo classificadas como forte para H+Al e pH, e moderada para V% (CALLEGARI-JACQUES, 2008).

A correlação de Pearson ( $r$ ) é determinado através da existência relação entre duas variáveis quantitativas. Quando o coeficiente de correlação apresentar valores negativos uma variável irá aumentar e a outra diminuir ou vice-versa. E quando houver valores positivos as duas variáveis aumentam simultaneamente. Para a interpretação dos resultados da correlação, baseou-se no estudo de Callegari Jacques, 2008,

no qual valores entre 0 e 0,30 são classificados como fracos, 0,30 e 0,60 regular, e de 0,60 a 0,90 forte.

Tabela 3 - Correlação de Pearson entre as variáveis e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

| Avaliação             | Coefficiente de variação | Significância |
|-----------------------|--------------------------|---------------|
| Ca <sup>1</sup>       | -0,30                    | NS            |
| P <sup>2</sup>        | 0,05                     | NS            |
| K <sup>1</sup>        | -0,20                    | NS            |
| Mg <sup>1</sup>       | -0,34                    | NS            |
| CTC <sup>1</sup>      | 0,27                     | NS            |
| H+Al <sup>1</sup>     | 0,62                     | 0,05*         |
| pH CaCl <sup>2</sup>  | -0,62                    | 0,05*         |
| V%                    | 0,53                     | 0,05*         |
| MO <sup>3</sup>       | 0,46                     | NS            |
| Produção <sup>4</sup> | -0,34                    | NS            |

\*Correlação significativa  $p < 0,05$  e \*\* Correlação significativa  $p > 0,01$  pelo Teste T; NS: Não Significativo.

Observa-se que a acidez potencial (H+Al) mostrou-se positiva e significativa a 5% para a correlação com o NDVI, isso pode ser explicado pelo fato de que quanto maior a acidez potencial, maior será o poder tampão, ou seja, o solo terá mais resistência para sofrer alteração ao pH, indicando um maior valor de NDVI.

O Potencial Hidrogeniônico (pH) foi negativo (-0,62) e significativo a 5%, ou seja, quando ocorre redução do pH o valor do NDVI aumenta, e com essa diminuição do pH ocorre a liberação de elementos químicos das rochas e do próprio solo, como o Ca, Mg, K sendo benéficos as plantas, e o elemento alumínio sendo prejudicial as plantas e a disponibilidade dos nutrientes.

A Saturação por Bases (V%) teve correlação positiva e significativa, ou seja, locais com maior saturação por bases proporcionou um maior valor do NDVI, ou seja, maior quantidade vegetativa apresentada do local.

A produtividade correlacionou-se negativamente (-0,34) com o índice de vegetação da diferença normalizada, e quanto menor a produtividade, maior o valor do NDVI, e sendo assim não teve correlação entre a produtividade e o NDVI, entretanto o NDVI não obteve correlação significativa com a produtividade.

### CONCLUSÕES

Potássio e a Matéria Orgânica se apresentaram no solo com altos teores;

Cálcio, Magnésio, Capacidade de Troca de Cátions, o Potencial Hidrogeniônico e a Saturação por Bases com teores adequados;

Fósforo e a Acidez Potencial com baixos teores;

Cálcio, Magnésio, Potencial Hidrogeniônico, Saturação por Bases e a produtividade obtiveram forte grau de dependência espacial, o Fósforo e a Capacidade de Troca de Cátions apresentaram moderada dependência espacial;

A correlação entre Índice de Vegetação da Diferença Normalizada a Acidez Potencial e o e Saturação de bases, e Potencial Hidrogeniônico se correlacionou negativamente com o NDVI.

### LITERATURA CITADA

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v.22, n.6, p. 711-728, jan. 2014.
- ATZBERGER, C. Advances in remote sensing of agriculture: context description, existing operational monitoring systems and major information needs. *Remote Sensing*, Viena, v.5, n.2, p. 949-981, feb. 2013.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artmed, 2008. 255 p.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M. et al. Field-Scale Variability of Soil Properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.58, n.5, p. 1501-1511, sept-oct. 1994.
- CASTRO, G. S. A.; KOURI, J.; ALVES, L. W. R. *Comportamento de cultivares de soja em sistema plantio direto consolidado e em área de abertura sem revolvimento do solo*. Macapá: Embrapa, 2015. 05 p. (Circular Técnica).
- CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos, oitavo levantamento*. Brasília: CONAB, 2021. p. 85-95. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 19 maio 2021.
- DALCHIAVON, F. C.; CARVALHO, M. P.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Variabilidade espacial de atributos da fertilidade de um latossolo vermelho distroférrico sob sistema plantio direto. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v.43, n.3, p. 453-461, jul/set. 2012.
- ESRI. *Introducing ArcGIS 10.1: integrated platform enables greater collaboration*. Disponível em: <<https://www.esri.com/news/arcnews/spring12/articles/introducing-arcgis-101.html>>. Acesso em: 07 abr. 2021.
- FIGUEIREDO, K. F. *Avaliação das características agronômicas e produtividade de cultivares de soja em diferentes sistemas de semeadura*. 2013. 32f. Monografia (Graduação em Agronomia), Universidade de Brasília, Brasília.
- GIOTTO, E.; CARDOSO, C. D. V.; SEBEM, E. (Orgs.). *Agricultura de Precisão com o Sistema CR Campeiro 7*. Santa Maria: UFSM - Laboratório de Geomática, 2013. v.1. 91 p.
- LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos químicos do solo em área de vegetação natural em regeneração. *Revista Árvore*, Viçosa, v.34, n.1, p.127-136, maio 2010.
- LONDERO, R.; OLIVEIRA, R. B.; NASCIMENTO, J. M.; ARCOVERDE, S.N.S.; SECRETTI, M.L. Dependência espacial da fertilidade do solo sob plantio direto e suas relações com a produtividade da soja. *Caderno de Ciências Agrárias*, Minas Gerais, v.12, p.01-08, nov. 2020.
- MACHADO, L. O.; LANA, A. M. Q.; LANA, R. M. Q. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob plantio convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.3, p.591-599, ago. 2007.
- MALDANER, L. F.; WEI, M. C. F.; MOLIN, J. P. Mapas de produtividade. *Agricultura de Precisão*, Piracicaba: USP-ESALQ, 2019, 5 p. (Boletim Técnico, n.04). Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/338555355-Mapas\\_de\\_Produtividade](https://www.researchgate.net/publication/338555355-Mapas_de_Produtividade)>. Acesso em: 16 set. 2020.
- MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R. do.; COLAÇO, A. F. *Agricultura de precisão*. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 240 p.
- NAKA, J. T. *Correlação do índice de vegetação por diferença normalizada com parâmetros químicos do solo para aplicações em agricultura de precisão*. 2019. 61f. Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.
- OLIVEIRA, M. A.; FERREIRA, R. C.; SIBALDELLI, R. N. R. et al. Análise espacial da produção da Soja e capacidade estática de armazenamento no estado do Mato Grosso. *Revista de Estudos Sociais*, [S.I.], v.17, n.35, p. 238-257, out. 2015.
- ROMANSINI, V.A.; MARTINS, J. A.; PIVETTA, L. G. et al. **Índices de vegetação derivados de imagens orbitais como indicadores de produtividade da cultura da**



- soja.** In: RIBEIRO, J.C. (Org.). *Desenvolvimento Social e Sustentável das Ciências Agrárias 2*. Ponta Grossa: Atena, 2020. Disponível em: <<https://www.atenaeditora.com.br/post-ebook/3571>>. Acesso em: 18 set. 2020.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. et al. *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation*. Greenbelt: Goddard Space Flight Center, 1974. 371 p. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19750020419>>. Acesso em: 20 set. 2020.
- SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDAO, Z. N.; VICENTE, L. E. et al. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: BERNARDI, A.C.C.; NAIME, J.M.; RESENDE, A.V. et al. *Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar*. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114687/1/Agricultura-de-precisao-cap.4.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2020.
- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; XAVIER, A. C. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos de um latossolo vermelho-amarelo húmico cultivado com café. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n.1, p. 15-22, abr. 2010.
- SILVA, S. B. e.; *Análise de solo para ciências agrárias*. 2.ed. Belém: Edufra, 2018. 174 p.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Calagem e adubação para culturas anuais e perenes. In: SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. (Eds.). *Cerrado: correção do solo e adubação*. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/555355>>. Acesso em: 28 abr. 2021.
- TRINDADE, F. S.; ALVES, M. C.; NOETZOLD, R. et al. Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, v.62. p. 1-11, mar. 2019.
- USGS. United States Geological Survey. *Earth Explorer*. 2021. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 04 fev. 2021.
- ZANÃO JÚNIOR, L. A.; LANA, R. M. Q.; CARVALHO-ZANÃO, M. P. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos em diferentes profundidades em um Latossolo em sistema de plantio direto. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 57, n.3, p. 429-438. maio/jun. 2010.

Recebido para publicação em 22/06/2021, aprovado em 01/08/2021 e publicado em 31/12/2021.