

Estudo de Caso 2 - Definição de Zonas de Manejo, Calagem e Gessagem em Área de Produção de Soja na Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR

Julio Cezar Franchini dos Santos
Fabricio Bueno Corrêa
Henrique Debiasi
Ivani de Oliveira Negrão Lopes
Carlos Manoel Pedro Vaz
Eduardo Antonio Speranza
Ladislau Marcelino Rabello

Introdução

A agricultura de precisão tem desenvolvido um conjunto de ferramentas, tecnologias e metodologias que permitem ao produtor conhecer a variabilidade espacial e temporal dos fatores de produção e do rendimento de grãos em seus talhões, a custos cada vez menores. Muitos desses fatores são manejáveis, como por exemplo, aqueles relacionados à fertilidade e à acidez do solo. Nestes casos, o uso de aplicações de fertilizantes e corretivos a taxa variável pode contribuir para a redução da variabilidade destes fatores ao longo do tempo, fazendo-se os ajustes necessários para atingir os níveis considerados adequados, de forma homogênea, em toda a área. Uma vez atingido este estágio tecnológico, as intervenções passam a ser conforme demanda (em função do rendimento de grãos) e para a manutenção dos níveis de fertilidade dentro da faixa adequada. Por outro lado, existem fatores importantes para a definição do rendimento de grãos, que não são manejáveis, como o tipo de solo, a textura do solo e a topografia do terreno. Desta forma, mesmo após intervenções, os talhões continuam a apresentar padrões espaciais de rendimento de grãos relativamente permanentes, caracterizando áreas homogêneas do terreno em relação ao potencial produtivo, à eficiência de uso de insumos e ao risco de impacto ambiental, definidas, conceitualmente, como zonas de manejo (Bullock et al., 1998; Shanahan et al., 2004; Franz et al., 2020). As zonas de manejo podem ser definidas por meio de várias camadas de informação, sendo as mais comuns o mapa de colheita de safras anteriores, os atributos do solo (matéria orgânica e textura), a topografia, os índices de vegetação das culturas e a condutividade elétrica aparente do solo (Bullock et al., 1998; Kravchenko; Bullock, 2000; Schepers et al., 2000; Fridgen et al., 2004; Shanahan et al., 2004; Brock et al., 2005; Jaynes et al., 2005; Li et al., 2013; Kuiawski et al., 2017; Gavioli et al., 2019; Breunig et al., 2020; Franz et al., 2020). Análises de agrupamento destas variáveis permitem estabelecer zonas com potenciais produtivos relativos que se repetem ao longo dos anos. A classificação das zonas de manejo em níveis de potencial produtivo permite a utilização de estratégias diferenciadas que visam a otimizar os recursos e a aumentar a rentabilidade do talhão de produção.

De forma geral, o potencial produtivo está associado a condições ambientais (posição geográfica, solo e clima), práticas de manejo (época de semeadura, taxa de semeadura e espaçamento entre linhas), atributos genéticos (cultivar e grupo de maturidade relativa) e suas interações (Evans; Fisher, 1999; Rowntree et al., 2013; Van Roekel et al., 2015; Franz et al., 2020). Em escala de campo, as práticas de gestão são aplicadas como estratégia para reduzir a diferença entre os rendimentos reais e os potencialmente alcançáveis, ou seja, produzir sob gestão ideal (Van Ittersum et al., 2013; Bunselmeyer; Lauer, 2015; Sentelhas et al., 2015). Do ponto de vista das práticas de gestão, a correção da fertilidade é um dos principais fatores controlados pelos produtores. Consequentemente, muitos estudos foram conduzidos no Brasil sobre o efeito da fertilidade nos rendimentos de grãos da soja e do milho, identificando valores de referência para condições variáveis de solo e clima (Pavinato et al., 2017). Neste contexto, o uso da taxa variável de insumos e corretivos é bastante

atrativo como estratégia gerencial e econômica, devido aos resultados previamente obtidos. No entanto, ainda existe pouca informação sobre a interação destas práticas em zonas de manejo definidas por análise de grupamento, considerando várias camadas de informações.

Desta forma, uma vez definidas as zonas de manejo em escala de talhão, é importante avaliar se os parâmetros previamente estabelecidos podem ter comportamento alterado em função das zonas de manejo. Atualmente, pouco se sabe sobre a influência da fertilidade do solo em zonas de manejo definidas por análise de grupamento sobre o potencial de rendimento para a soja e o milho em talhões de produção comercial no Brasil. Normalmente, os produtores têm dúvida sobre a quantidade a ser aplicada de calcário e gesso considerando que existem zonas de manejo com potenciais produtivos diferentes dentro dos talhões. Uma melhor compreensão sobre este tema poderia melhorar as taxas de aplicação por zonas de manejo dentro de um talhão, podendo causar impactos positivos na rentabilidade. Neste sentido, o presente trabalho propôs uma metodologia de análise do ambiente de produção em um talhão típico de produção de soja e suas possíveis interações com intervenções realizadas na fertilidade do solo por meio de aplicação de diferentes proporções de calcário e gesso, em relação a um tratamento de referência, utilizando uma metodologia de experimentação on-farm e de análise de agrupamento para definição de zonas de manejo.

Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido em uma área piloto experimental na região de Campo Mourão, PR, em um talhão da Fazenda Indaiá (Figura 1), de propriedade do Sr. Fernando Greggio, cooperado da Coamo Agroindustrial Cooperativa. A Fazenda Indaiá tem uma área total de 900 ha e é considerada de nível tecnológico elevado, sendo representativa dos sistemas de produção utilizados na região de Campo Mourão. A Coamo teve participação direta na definição técnica e na condução operacional, participando com equipes treinadas para coleta de amostras de solo georreferenciadas e para calibração dos equipamentos na aplicação de insumos a taxa variável.

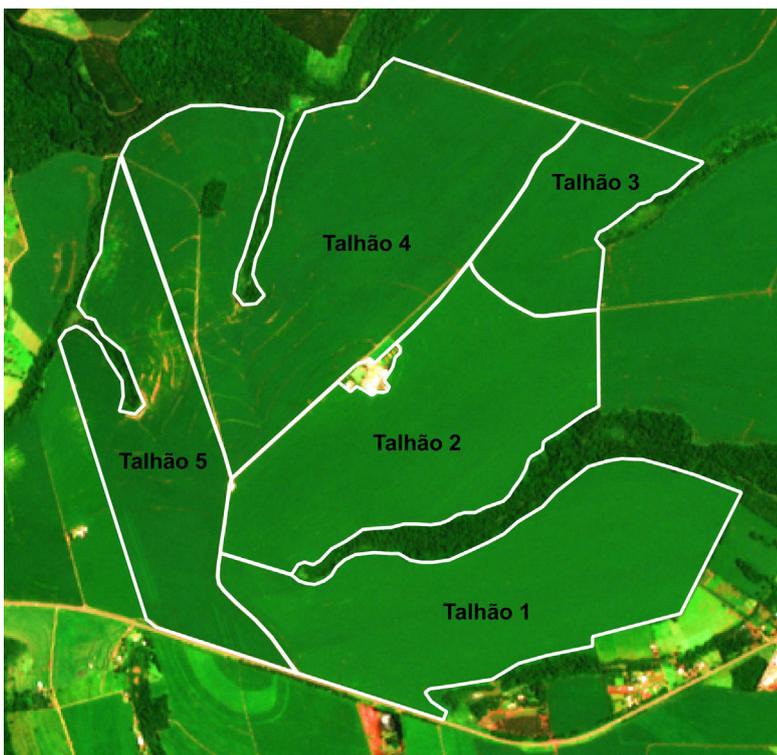


Figura 1. Imagem aérea da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR, com a identificação dos talhões. Embrapa/Coamo.

Fonte: Google Earth (2017).

Para o desenvolvimento do trabalho, em fevereiro de 2017, após a colheita da soja, a área experimental piloto, definida como Talhão 3 ($24^{\circ}2'36,57''S$ e $52^{\circ}26'39,54''W$), que tem área de 65 ha, foi submetida a uma série de procedimentos de caracterização e análise. Para caracterização do solo, foi realizada uma amostragem utilizando um grid regular de 1 ha, conforme ilustrado na Figura 2. O número de subamostras utilizadas e de camadas amostradas seguiu a estratégia apresentada na Figura 3.



Figura 2. Mapa de pontos de coleta de amostras de solo em fevereiro de 2017, na área experimental "Talhão 3" da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. Embrapa/Coamo, 2017.

Fonte: Google Earth (2017).

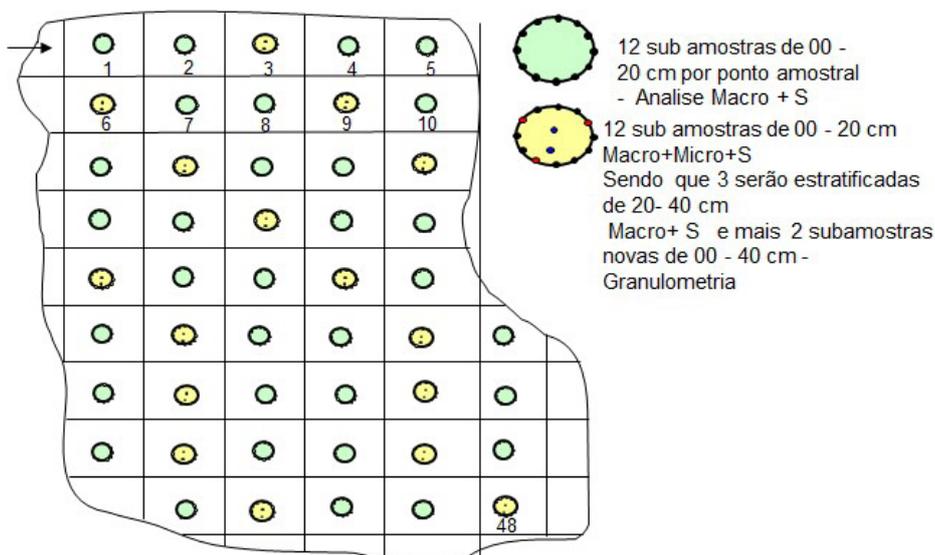


Figura 3. Estratégia esquemática de amostragem de solo para caracterização química e granulométrica do solo em talhão da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. Embrapa/Coamo, 2017.

A condutividade elétrica do solo (CE_a) foi avaliada em 5 de setembro de 2017, após a colheita do milho de segunda safra, nas profundidades de 0,0-0,3 m e 0,0-0,9 m, por meio do sensor de contato direto Veris 3100® e respectivo sistema de aquisição de dados. O equipamento utiliza, como sensores, seis eletrodos conectados a discos de corte lisos, que penetram no solo (Figura 4). Dois discos emitem corrente elétrica alternada no solo, enquanto os outros quatro discos (um par para cada profundidade) medem a diferença de potencial resultante, que é proporcional a CE_a do solo. O sistema de coleta de dados do equipamento grava os valores de CE_a (expressos em $mS\ m^{-1}$) em intervalos

de 1 s, simultaneamente para as duas camadas. A avaliação da CE_a foi realizada em faixas distanciadas 10 m entre si, com largura de 2,35 m, correspondente à largura do equipamento.

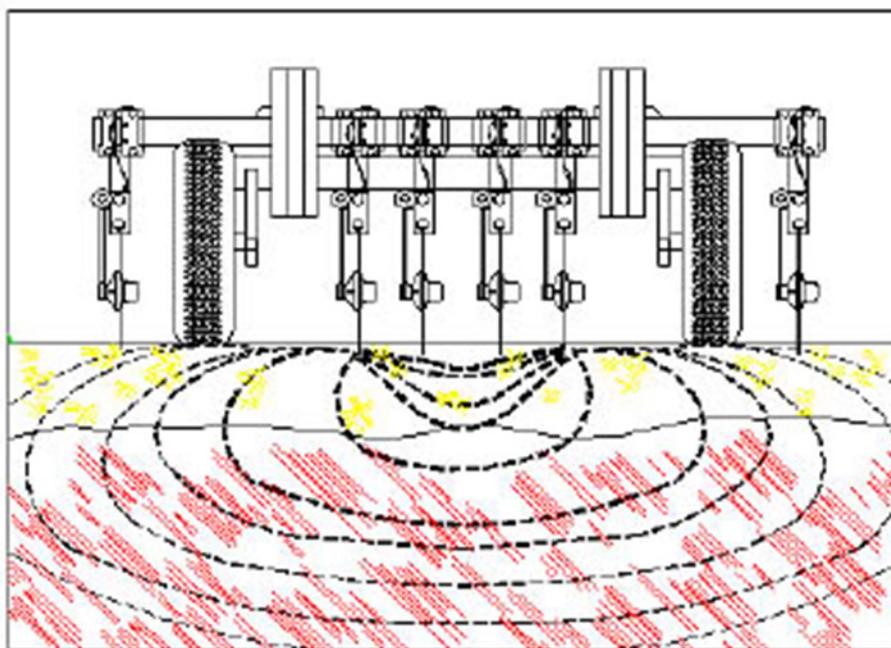


Figura 4. Diagrama esquemático do funcionamento do equipamento Veris 3100 utilizado para quantificar a condutividade elétrica aparente do solo (CE_a) em talhão da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. Embrapa/Coamo, 2017.

Fonte: Inamasu et al. (2007).

Com base na análise química e granulométrica do solo realizada em fevereiro de 2017, em setembro de 2017, após a colheita do milho de segunda safra, foi implantado um experimento no qual foram combinadas a aplicação de doses de calcário e de gesso. Foram combinados três níveis de calagem (0, 3.000 kg ha⁻¹ e 6.000 kg ha⁻¹) e três níveis de gesso (0, 50 e 100 vezes o teor de argila). Adicionalmente, foi incluído um tratamento que representava a indicação baseada nos critérios estabelecidos pela Coamo em seu programa de agricultura de precisão, que representou uma dose de 4.000 kg de calcário ha⁻¹, necessária para atingir uma saturação por bases de 75%, e a dose de gesso (em kg/ha) seguindo o critério de multiplicação por 50 vezes o teor de argila. A saturação por bases média na área experimental, antes da aplicação dos tratamentos, era de 38%. As doses de 3.000 kg ha⁻¹ e de 6.000 kg de calcário ha⁻¹ representaram doses equivalentes às necessárias para atingir 65% e 90% da saturação por bases, respectivamente. A dose de gesso de 100 vezes o teor de argila representou o dobro da dose atualmente indicada. As parcelas tinham dimensões de 30 m de largura por 60 m de comprimento e foram estabelecidas no sentido longitudinal do talhão. As parcelas foram estabelecidas virtualmente em software de informações geográficas (QGIS, 2022) e implantadas no campo por meio de GPS com sinal RTX de precisão submétrica. Os tratamentos foram aplicados utilizando um caminhão distribuidor disponibilizado pela Coamo, após ensaio de calibração usando nove bandejas uniformemente distribuídas na faixa de aplicação. A faixa de aplicação foi ajustada em 10 metros para o ajuste da dose, tanto para o calcário quanto para o gesso, o que representou três passadas do equipamento para aplicação das doses.

Os tratamentos foram aplicados em 19 blocos uniformemente distribuídos no talhão. Os níveis de calcário foram repetidos em seis blocos constituídos por 16 parcelas (Figura 5). Os níveis de gesso foram aplicados dentro de cada bloco de calcário (Figura 6).

A topografia do terreno foi caracterizada com base nos dados de altimetria coletados pelo sistema de posicionamento global (GPS) embarcado na colhedora automotriz que realizou a colheita da soja na safra 2016/2017. Os dados de altimetria foram reamostrados (grade 20 m x 20 m) e modelados por geoestatística para suavizar valores associados ao microrrelevo (curvas de nível, por exemplo),

gerando o modelo digital do terreno (MDT) com resolução de dez metros. O mapa de declividade do talhão foi gerado em um software de informações geográficas (QGIS, 2022) a partir do MDT.

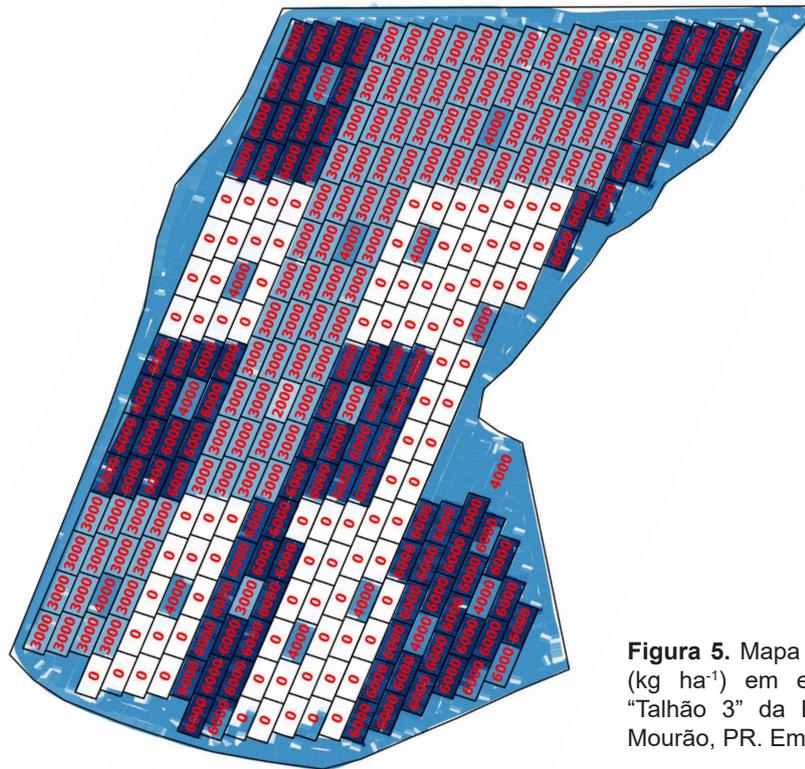


Figura 5. Mapa de aplicação de calcário (kg ha⁻¹) em experimento on-farm no “Talhão 3” da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. Embrapa/Coamo, 2018.

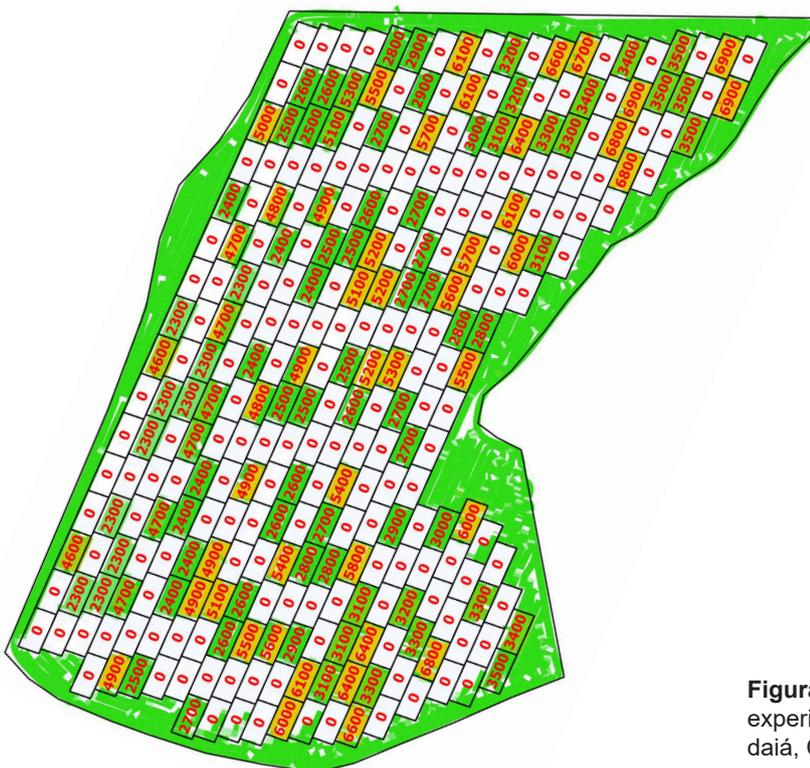


Figura 6. Mapa de aplicação de gesso (kg ha⁻¹) em experimento on-farm no “Talhão 3” da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. Embrapa/Coamo, 2018.

Mapas do rendimento de grãos da soja foram obtidos nas safras 2016/2017 e 2017/2018 (cultivar de soja BS 2606 IPRO). A soja foi semeada em 05/10/2016 e 12/10/2017, por meio de uma semeadora adubadora tratorizada, utilizando espaçamento de 0,5 m entre linhas e uma população aproximada de 250.000 plantas ha⁻¹. A adubação de base foi realizada de acordo com os resultados da análise de solo. A implantação e o manejo da lavoura, assim como os tratamentos fitossanitários, foram realizados de acordo com as indicações da pesquisa para a região (Seixas et al., 2020). Nos dias 08/02/2017 e 07/03/2018 foram realizadas as colheitas do talhão com uma colhedora automotriz modelo S680 (John Deere®), equipada com plataforma de 10,5 m e sensores de fluxo e de umidade e GPS. Os dados obtidos foram filtrados manualmente para eliminar dados discrepantes e inconsistentes, tais como aqueles obtidos pela passagem da automotriz sobre áreas já colhidas ou obtidos com plataforma parcialmente utilizada. Os dados foram convertidos para a unidade de sacas de 60 kg ha⁻¹ a 13% de umidade.

Resultados e Discussão

Os métodos para delinear zonas de manejo (ZMs) podem variar em função das camadas de informações utilizadas e das técnicas para criar os seus limites (Gavioli et al., 2019). Alguns exemplos incluem a análise de agrupamento multivariada utilizando mapas de rendimento de grãos das culturas, condutividade elétrica aparente do solo ou fertilidade do solo, classes de solo e propriedades da paisagem, índices vegetativos da cultura e sua estabilidade temporal obtidos por sensoriamento remoto e identificação da estabilidade do rendimento de grãos usando variância temporal (Li et al., 2013; Franz et al., 2020). As ZMs são definidas como áreas homogêneas do terreno em relação ao potencial produtivo, à eficiência de uso de insumos e ao risco de impacto ambiental.

A Figura 7 apresenta os mapas dos atributos medidos (rendimento de grãos nas duas safras, altimetria, declividade, condutividade elétrica aparente do solo e teor de argila), os quais foram utilizados na análise de agrupamento de dados para a definição das zonas de manejo (regiões com características semelhantes em relação aos atributos medidos). Preliminarmente, os dados foram submetidos à análise de distribuição normal pelo teste de K² e, posteriormente, modelados por meio de *krigagem* (método geoestatístico para interpolação de dados), utilizando o software *Vesper (Variogram Estimation and Spatial Prediction plus Error)* (Oliveira et al., 2015). Para seleção dos melhores modelos ajustados aos semivariogramas experimentais, foi utilizado o coeficiente de correlação entre os valores krigados e medidos, obtido por meio da validação cruzada (índice AIC). A seguir, os dados krigados foram utilizados para criar mapas com resolução espacial de 10 metros. Foi utilizado o algoritmo de agrupamento hierárquico de dados *Flexible Beta* (Lance; Williams, 1967), seguindo protocolos desenvolvidos no programa SAS (SAS Institute, 2001). Esse algoritmo realizou o agrupamento dos dados com base na similaridade entre eles, levando em consideração o cálculo pela métrica baseada na distância euclidiana. As distâncias foram obtidas a partir dos eixos principais que corresponderam a, pelo menos, 95% da variabilidade dos atributos utilizados na análise de componentes principais (PCA). A análise foi direcionada para a geração de dois grupos. Os grupos obtidos na análise de agrupamentos de dados foram classificados como zonas de manejo sítio-específico (Figura 7).

Os dados de rendimento de grãos da soja da safra 2017/2018 foram calculados por parcela experimental em função dos tratamentos de calcário e de gesso aplicados em setembro de 2017, e foram analisados considerando as duas zonas de manejo identificadas no talhão. A comparação entre as zonas e os tratamentos foi realizada por meio de análise de contrastes e de regressão, respectivamente.

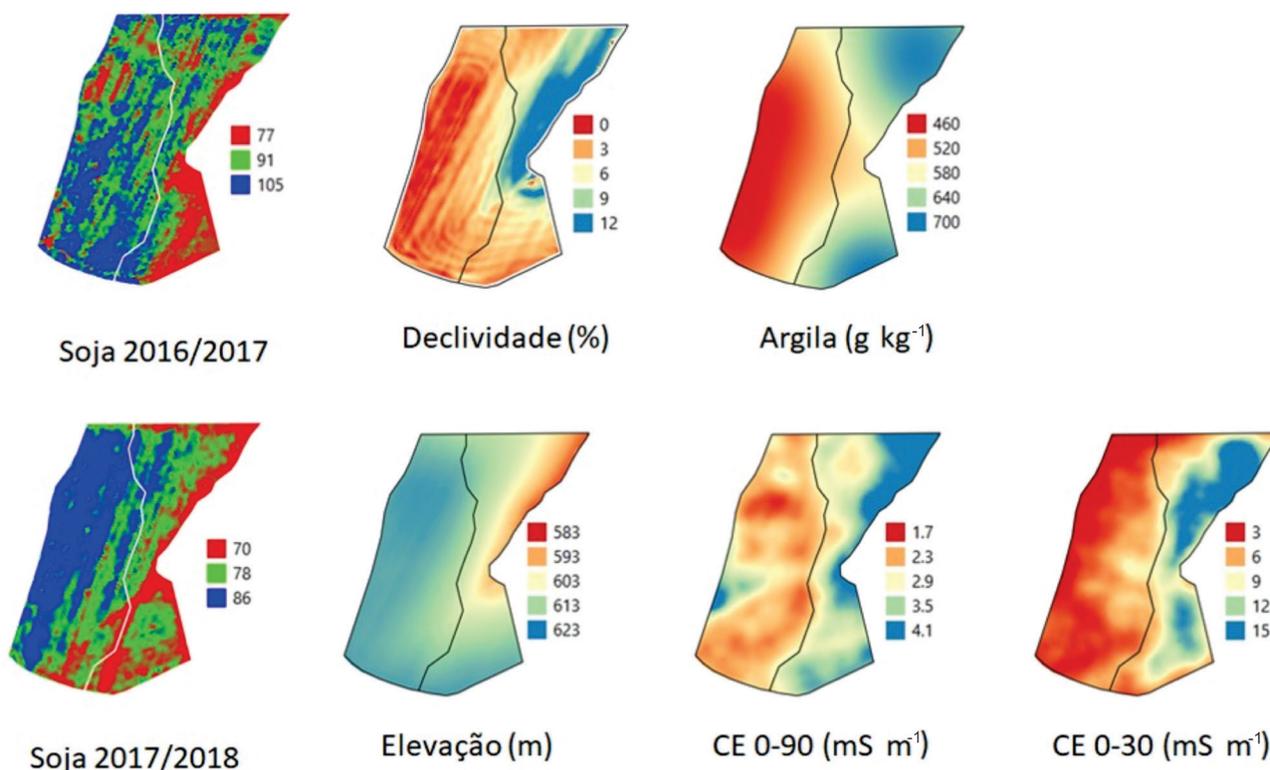


Figura 7. Mapas de variabilidade espacial do rendimento de grãos (sacas ha⁻¹) de soja nas safras 2016/2017 e 2017/2018, da elevação, da declividade, do teor de argila e da condutividade elétrica (CE_a) em duas camadas (0-30 cm e 0-90 cm) na área experimental “Talhão 3” da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. A linha branca nos mapas de rendimento de grãos e a linha preta nos mapas de atributos do solo indicam a separação entre as zonas de manejo identificadas no talhão (Zona 1 do lado esquerdo e Zona 2 do lado direito do talhão).

A altimetria e a declividade de talhões de produção têm forte influência sobre a dinâmica da água no perfil do solo. Isso é claramente observado pelo posicionamento das diferentes classes de solos em uma toposequência. Assim, para os solos derivados do basalto na região noroeste do Paraná, é comum a ocorrência do Latossolo Vermelho distroférico, bem drenado, localizado nas cotas mais altas, com declividade de até 8%, e o Nitossolo Vermelho distroférico, ou a transição entre estas classes, em cotas mais baixas e com declividade mais acentuada. Essa influência da topografia sobre as classes de solos e, conseqüentemente, sobre a dinâmica da água, determina padrões de comportamento para as espécies cultivadas. Por exemplo, é comum observar crescimento maior da soja nas partes mais baixas do talhão, o que pode levar ao acamamento e a maior dificuldade para os tratamentos culturais de pragas e doenças nessas regiões. Por outro lado, o milho de segunda safra, normalmente, tem apresentado maior rendimento de grãos nessas regiões, provavelmente associado a maior retenção de água no outono (abril, maio e junho). Em estudo recente, Franz et al. (2020), usando abordagens de Regressão Linear Múltipla (MLR), quantificaram que a localização associada à topografia dentro do talhão tinha entre 60% e 85% da importância relativa para modelar padrões de rendimento de grãos das culturas.

No presente estudo, a altimetria, a declividade, a textura do solo e a condutividade elétrica foram bem relacionadas e foram determinantes para o estabelecimento de duas zonas de manejo com características específicas dentro do talhão avaliado (Figura 7).

A Zona 1, localizada na parte mais alta do talhão, foi mais produtiva em ambas as safras de soja avaliadas e apresentou menor teor de argila, menor declividade e menor condutividade elétrica do que a Zona 2 (Figuras 7 e 8). Esse padrão de comportamento do rendimento de grãos foi associado a fatores não manejáveis do talhão, como elevação, declividade, textura e, possivelmente, o tipo de solo nas diferentes

zonas, já que a aplicação dos tratamentos de calcário e gesso em setembro de 2017 provocou apenas discretas mudanças no padrão de rendimento de grãos do talhão na safra 2017/2018 (Figuras 7, 8 e 9). Isso indica que as características intrínsecas das zonas de manejo foram mais importantes para a determinação do padrão de rendimento de grãos do que a aplicação dos corretivos de acidez.

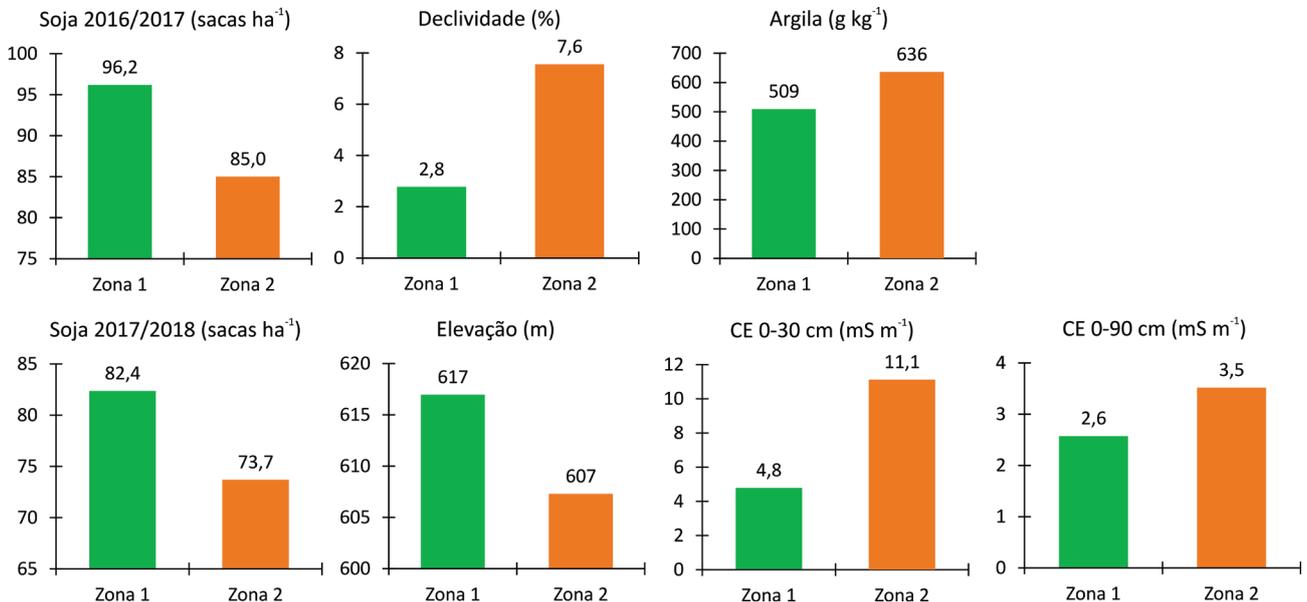


Figura 8. Valores médios por zona de manejo (Zona 1 e Zona 2) do rendimento de grãos da soja nas safras 2016/2017 e 2017/2018, da elevação, da declividade, do teor de argila e da condutividade elétrica em duas camadas (0-30 cm e 0-90 cm) na área experimental “Talhão 3” da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR.

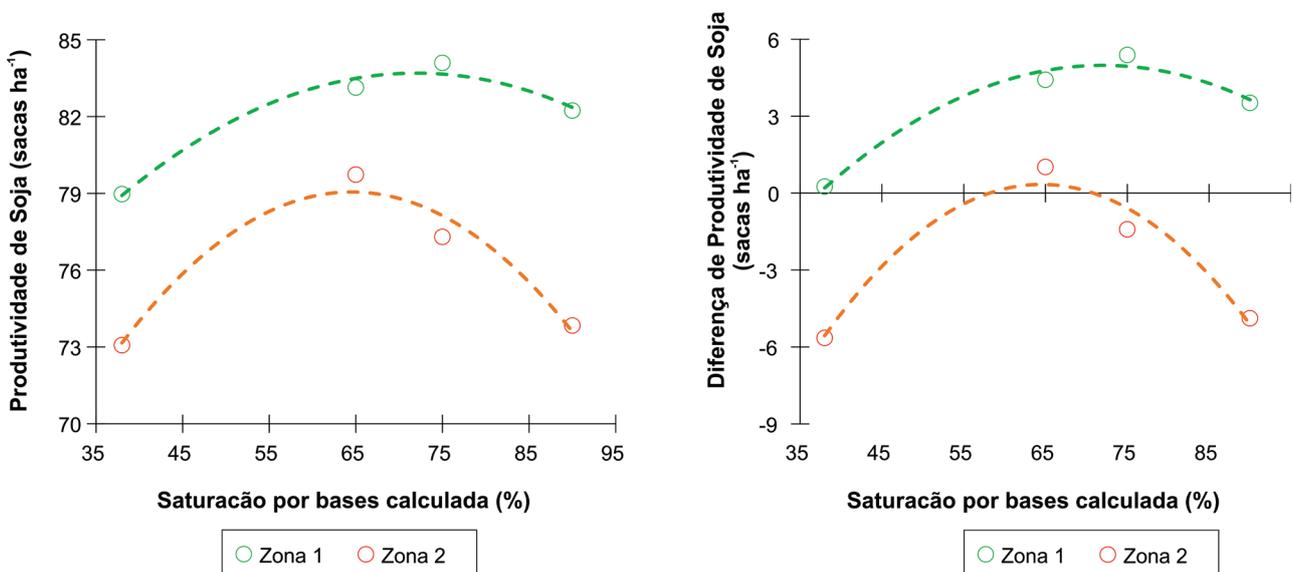


Figura 9. Rendimento de grãos da soja (à esquerda) e diferença de rendimento de grãos em relação à média do talhão (à direita) em função de doses de calcário para elevar a saturação por bases a 65%, 75% e 90% em zonas de manejo delineadas no talhão 3 da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. Dados da safra 2017/2018.

A aplicação de calcário apresentou resultados semelhantes para as duas zonas de manejo, pois ambas atingiram o máximo rendimento de grãos com a aplicação de calcário para elevar a saturação por bases para 65%. No entanto, a aplicação de doses maiores de calcário teve pouco efeito sobre o rendimento de grãos na Zona 1, enquanto que reduziu o rendimento de grãos na Zona 2 (Figura 9). A aplicação de gesso, por sua vez, não apresentou efeito sobre o rendimento de grãos na Zona 1, enquanto que reduziu o rendimento de grãos na Zona 2 (Figura 10). Os resultados indicaram que a indicação de calcário deveria ser baseada na aplicação da dose equivalente à necessária para a elevar a saturação por bases a 65%, sem a aplicação de gesso, pois não foi observada interação entre a aplicação combinada de calcário e gesso.

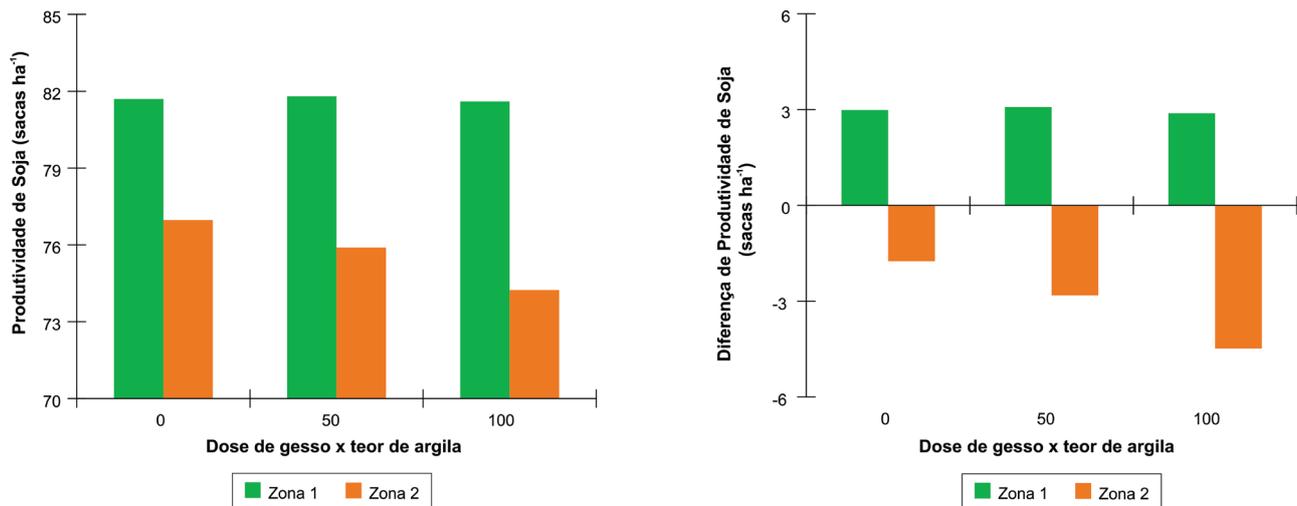


Figura 10. Rendimento de grãos da soja (à esquerda) e diferença de rendimento de grãos em relação à média do talhão (à direita) em função de doses de gesso (0, 50 e 100 vezes o teor de argila), em zonas de manejo delineadas no talhão 3 da Fazenda Indaiá, Campo Mourão, PR. Dados da safra 2017/2018.

A definição de zonas de manejo, neste estudo, indicou que esta metodologia é adequada para definir a variabilidade do potencial produtivo associada a fatores não manejáveis. As recomendações atuais para o manejo da acidez mostraram-se adequadas para a tomada de decisão em relação ao uso de corretivos. A identificação da variabilidade do potencial produtivo, associada a fatores não manejáveis, abre a possibilidade de manejo sítio-específico associado à aplicação a taxa variável de outros insumos além de fertilizantes e corretivos, como, por exemplo, sementes. Existem informações que indicam que a densidade de sementes de soja e milho pode ser melhor ajustada ao potencial produtivo de diferentes ambientes (Shanahan et al., 2004; Hörbe et al., 2013; Corassa et al., 2018; Assefa et al., 2016; Carciochi et al., 2019). A experimentação on-farm pode ser uma ferramenta útil para testar esta hipótese em zonas de manejo com diferentes potenciais produtivos, como as delineadas no talhão 3 da Fazenda Indaiá.

Agradecimentos

Ao proprietário da Fazenda Indaiá, Fernando Greggio, e aos funcionários, pelo compromisso e apoio imprescindíveis a este trabalho de experimentação on-farm. À Coamo Agroindustrial Cooperativa, pelo suporte técnico e financeiro complementar a esta iniciativa.

Referências

- ASSEFA, Y.; PRASAD, P. V. V.; CARTER, P.; HINDS, M.; BHALLA, G. Yield responses to planting density for US modern corn hybrids: a synthesis-analysis. *Crop Science*, v. 56, p. 2802-2817, 2016. DOI: 10.2135/cropsci2016.04.0215.
- BREUNIG, F. M.; GALVÃO, L. S.; DALAGNOL, R.; DAUVE, C. E.; PARRAGA, A.; SANTI, A. L.; FLORA, D. P. D.; CHEN, S. Delineation of management zones in agricultural fields using cover-crop biomass estimates from PlanetScope data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 85, n. 102004, 2020. DOI: 10.1016/j.jag.2019.102004.
- BROCK, A.; BROUDER, S. M.; BLUMHOFF, G.; HOFMANN, B. S. Defining yield-based management zones for corn-soybean rotations. *Agronomy Journal*, v. 97, n. 4, p. 1115, 2005. DOI:10.2134/agronj2004.0220.
- BULLOCK, D. G.; BULLOCK, D. S.; NAFZIGER, E. D.; DOERGE, T. A.; PASZKIEWICZ, S. R.; CARTER, P. R.; PETERSON, T. A. Does variable rate seeding of corn pay? *Agronomy Journal*, v. 90, p. 830-836, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj1998.00021962009000060019x>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- BUNSELMAYER, H. A.; LAUER, J. G. Using corn and soybean yield history to predict subfield yield response. *Agronomy Journal*, v. 107, p. 558-562, 2015. DOI:10.2134/agronj14.0261.
- CARCIOCHI, W. D.; SCHWALBERT, R.; ANDRADE, F. H.; CORASSA, G. M.; CARTER, P.; GASPAR, A. P.; CIAMPITTI, I. A. Soybean seed yield response to plant density by yield environment in North America. *Agronomy Journal*, v. 111, n. 4, p. 1923-1932, 2019. DOI:10.2134/agronj2018.10.0635.

- CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; STRIEDER, M. L.; SCHWALBERT, R.; PIRES, J. L. F.; CARTER, P. R.; CIAMPITTI, I. A. Optimum soybean seeding rates by yield environment in Southern Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 6, p. 1-9, 2018. DOI:10.2134/agronj2018.04.0239.
- EVANS, L. T.; FISHER, R. A. Yield potential: its definition, measurement, and significance. **Crop Science**, v. 39, p. 1544-1551, 1999. DOI: 10.2135/cropsci1999.3961544x.
- FRANZ, T. E.; POKAL, S.; GIBSON, J. P.; ZHOU, Y.; GHOLIZADEH, H.; TENORIO, F. A.; WARDLOW, B. The role of topography, soil, and remotely sensed vegetation condition towards predicting crop yield. **Field Crops Research**, v. 252, 107788, 2020. DOI: 10.1016/j.fcr.2020.107788.
- FRIDGEN, J. J.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; WIEBOLD, W. J.; FRAISSE, C. W. Management Zone Analyst (MZA): software for subfield management zone delineation. **Agronomy Journal**, v. 96, n. 1, p. 100-108, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0100>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- GAVIOLI, A.; SOUZA, E. G. de; BAZZI, C. L.; SCHENATTO, K.; BETZEK, N. M. Identification of management zones in precision agriculture: an evaluation of alternative cluster analysis methods. **Biosystems Engineering**, v. 181, p. 86-102, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.02.019>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <http://earth.google.com/>. Acesso em: 8 fev. 2017.
- HÖRBE, T. A. N.; AMADO, T. J. C.; FERREIRA, A. O.; ALBA, P. J. Optimization of corn plant population according to management zones in Southern Brazil. **Precision Agriculture**, v. 14, n. 4, p. 450-465, 2013. DOI:10.1007/s11119-013-9308-7.
- INAMASU, R. Y.; SIMÕES, M. dos S.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; RABELLO, L. M.; MOLIN, J. P. **Sistema de medida de condutividade elétrica do solo adaptado a um implemento agrícola (subsolador)**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007. 5 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Circular técnica, 40).
- JAYNES, D. B.; COLVIN, T. S.; KASPAR, T. C. Identifying potential soybean management zones from multi-year yield data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 309-327, 2005. DOI: 10.1016/j.compag.2004.11.011.
- KRAVCHENKO, A. N.; BULLOCK, D. G. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 75-83, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj2000.92175x>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- KUIAWSKI, A. C. M. B.; SAFANELLI, J. L.; BOTTEGA, E. L.; OLIVEIRA-NETO, A. M.; GUERRA, N. Vegetation indexes and delineation of management zones for soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47 n. 2, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632016v4743904>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- LANCE, G. N.; WILLIAMS, W. T. A general theory of classificatory sorting strategies. I. Hierarchical systems. **Computer Journal**, v. 9, p. 373-380, 1967.
- LI, Y.; SHI, Z.; WU, H. X.; LI, F.; LI, H. Definition of management zones for enhancing cultivated land conservation using combined spatial data. **Environmental Management**, v. 52, p. 792-806, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00267-013-0124-7>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- OLIVEIRA, R. P. de; GREGO, C. R.; BRANDAO, Z. N. (Ed.). **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. cap. 4, p. 65-82.
- PAVINATO, P. S.; PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V.; MOREIRA, A.; MOTTA, A. C. V. **Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2017. 482 p.
- QGIS: a free and open source geographic information system. Disponível em: <https://qgis.org/en/site/>. Acesso: 25 ago. 2022.
- ROWNTREE, S. C.; SUHRE, J. J.; WEIDENBENNER, N. H.; WILSON, E. W.; DAVIS, V. M.; NAEVE, S. L.; CASTEEL, S. N.; DIERS, B. W.; ESKER, P. D.; SPECHT, J. E.; CONLEY, S. P. Genetic gain x management interactions in soybean: I. Planting date. **Crop Science**, v. 53, p. 1128-1138, 2013. DOI:10.2135/cropsci2012.03.0157.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide statistics**: version 8.2. Cary, 2001. 291 p.
- SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI, A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In: BALAZS, E. (ed.). **Biological resource management: connecting science and policy**. Berlin: Springer, 2000. p. 129-135.
- SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. DE C. (ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2020. 347 p. (Embrapa Soja. Sistemas de produção, 17).
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000313>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- SHANAHAN, J. F.; DOERGE, T. A.; JOHNSON, J. J.; VIGIL, M. F. Feasibility of site-specific management of corn hybrids and plant densities in the great plains. **Precision Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 207-225, 2004. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/4>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- VAN ITTERSUM, M. K.; CASSMAN, K. G.; GRASSINI, P.; WOLF, J.; TITTONELL, P.; HOCHMAN, Z. Yield gap analysis with local to global relevance – a review. **Field Crops Research**, v. 143, p. 4-17, 2013. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.009.
- VAN ROEKEL, R. J.; PURCELL, L. C.; SALMERÓN, M. Physiological and management factors contributing to soybean potential yield. **Field Crops Research**, v. 182, p. 86-97, 2015. DOI: 10.1016/j.fcr.2015.05.018.