

**Implicação de grades amostrais na determinação da resistência do solo à penetração e
indicação de manejo**

**Implication of the use of different sampling grids to determine soil resistance to
penetration and indicate management**

**Implicación de las rejillas de muestra en la determinación de la resistencia del suelo a
la indicación de penetración y manejo**

Recebido: 24/08/2020 | Revisado: 02/09/2020 | Aceito: 06/09/2020 | Publicado: 07/09/2020

Jhonatan Spliethoff

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4618-0305>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: jhonatanspliethoff@hotmail.com

Leandro Rampim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8300-7424>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: rampimleandro@yahoo.com.br

Cristiano Andre Pott

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4630-2659>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: cpott@unicentro.br

Sebastião Brasil Campos Lustosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6899-190X>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: slustosa@unicentro.br

Resumo

É necessário estudo da variabilidade da compactação do solo identificada pela resistência a penetração, permitindo manejo a taxa variável com equipamentos agrícolas diante de adequada grade amostral. O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial da resistência à penetração com diferentes grades amostrais e indicação de manejo de um Latossolo Bruno na região centro sul do Paraná. Foi utilizado área experimental de 0,2 ha e grid amostral de 4 x 4 m, totalizando 120 leituras de resistência à penetração. A umidade gravimétrica média do solo na camada 0,0-0,2 m no momento da coleta de dados foi de

43,5%. Os dados foram submetidos à análise estatística, realizada para diferentes intensidades de amostragem, simuladas pela exclusão de pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área, sendo obtido grid amostral de 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m. A camada compreendida entre a faixa de 0,05 e 0,2 m apresentou maior média dos valores de resistência à penetração em relação às demais camadas estudadas. Para realizar manejo motomecanizado a taxa fixa em toda a área, a malha 4x40 pode ser utilizada. Para executar manejo a taxa variada, a malha ideal é 4x4, sendo possível uso da malha 4x8.

Palavras-chave: Penetrógrafo; Malha amostral; Agricultura de precisão.

Abstract

It's necessary to study the variability of soil compaction identified by the resistance to penetration, allowing handling at a variable rate with agricultural equipment before an adequate sampling grid. The aim of this study was to evaluate the spatial variability of resistance to penetration with different sampling grids and indication of management of an Oxisol. An experimental area of 0.2 ha and a 4 x 4 m sampling grid were used, totaling 120 readings of resistance to penetration. The average gravimetric soil moisture in the 0.0-0.2 m layer at the time of data collection was 43.5%. The data were submitted to statistical analysis, performed for different sampling intensities, simulated by the exclusion of sampling points uniformly distributed across the area, obtaining a 4 x 4 m, 4 x 8 m and 4 x 40 m sampling grid. The layer between the range of 0.05 and 0.2 m showed a higher mean of the penetration resistance values in relation to the other studied layers. To perform motorized handling at a fixed rate throughout the area, the 4x40 mesh can be used. To perform handling at a variable rate, the ideal mesh is 4x4, being possible to use the 4x8 mesh.

Keywords: Penetrograph; Sample mesh; Precision agriculture.

Resumen

Es necesario estudiar la variabilidad de la compactación del suelo identificada por la resistencia a la penetración, permitiendo el manejo a tasa variable con equipos agrícolas ante una adecuada rejilla de muestreo. El objetivo de este estudio fue evaluar la variabilidad espacial de la resistencia a la penetración con diferentes cuadrículas de muestreo e indicación de manejo de un Oxisol Bruno en la región centro sur de Paraná. Se utilizó un área experimental de 0.2 ha y una cuadrícula de muestreo de 4 x 4 m, totalizando 120 lecturas de resistencia a la penetración. La humedad gravimétrica promedio del suelo en la capa de 0.0-0.2 m en el momento de la recolección de datos fue de 43.5%. Los datos se sometieron a

análisis estadístico, realizado para diferentes intensidades de muestreo, simulado por la exclusión de puntos de muestreo distribuidos uniformemente en el área, obteniendo una cuadrícula de muestreo de 4 x 4 m, 4 x 8 m y 4 x 40 m. La capa entre el rango de 0.05 y 0.2 m mostró un mayor promedio de los valores de resistencia a la penetración en relación a las otras capas estudiadas. Para realizar la manipulación motorizada a un ritmo fijo en toda la zona, se puede utilizar la malla 4x40. Para realizar manipulaciones a tasa variable, la malla ideal es 4x4, siendo posible utilizar la malla 4x8.

Palabras clave: Penetrógrafo; Muestra de malla; Agricultura de precisión.

1. Introdução

Para a exploração agrícola do solo de forma sustentável, é essencial conhecer suas características intrínsecas, como sua qualidade física. Embora cultivados a muitos anos, os solos são naturalmente heterogêneos, possuindo variações contínuas no espaço e no tempo (Carneiro et al., 2016; Souza, 2007). Nesse sentido, torna-se crucial conhecer a heterogeneidade dos solos, haja visto que, quando o solo é tratado como um ambiente agrícola homogêneo tem-se perdas na produção e produtividade (Bernardi et al., 2015; Bottega et al., 2013).

Para garantir a sustentabilidade produtiva dos solos, os conhecimentos de seus atributos físicos são fundamentais (Reynolds et al., 2008), já que o conhecimento dessas características permite estabelecer sistemas de manejo do solo e da água adequados a suas peculiaridades, proporcionando condições para desenvolvimento adequado das plantas.

Uma alternativa capaz de quantificar essa qualidade física do solo de forma rápida e prática é a avaliação da resistência do solo à penetração (RP). Esse atributo expressa a facilidade ou não com que as raízes penetram no solo (Mion et al., 2012). De maneira indireta, indica a localização da camada mais restritiva (Girardello et al., 2014), podendo ser relacionada com outros atributos indicadores do grau de compactação (Stefanoski et al., 2013).

Para conhecer a variabilidade física do solo, muitas vezes é necessária amostragem intensa, pois alguns atributos físicos do solo variam entre pontos relativamente próximos, mesmo em área de manejo semelhante e visualmente semelhantes (Souza et al., 2004). Sabendo disso, é importante conhecer o comportamento dessa variabilidade a fim de minimizar os erros de amostragens e futuras recomendações.

Recentemente, Araújo et al. (2014) realizaram trabalho para avaliar variabilidade dos atributos físicos do solo, em grid de 15x15 m, identificando níveis elevados de resistência a penetração, mesmo em condições favoráveis de umidade, restritivos ao crescimento das raízes em Neossolo Flúvico. Assim como Cortez et al. (2017) estudaram Latossolo Vermelho com grid de 15x15 m, onde identificaram diferença entre sistema plantio direto e cultivado, com menor resistência à penetração para o cultivado.

Ao identificar camada compactada, Girardello et al. (2017) enfatizam que é oportuno organizar o tráfego de máquinas agrícolas que atualmente ocorre de maneira aleatória dentro das áreas comerciais, sendo uma ação com efeito de mitigar os problemas de compactação, impedindo perdas de produtividade. Uma vez que o tráfego de máquinas de grande porte sob condições inadequadas de umidade (elevada umidade) do solo, associada com a inadequada rotação de culturas e baixo aporte de massa seca, acaba induzindo a ocorrência da compactação do solo.

A importância da compactação e a necessidade de avaliar a resistência do solo ao desenvolvimento de raízes têm fomentado diversas pesquisas como a realizada por Pereira et al. (2017), com a avaliação da compactação do solo por penetrômetro de placa, permitindo ter informação em tempo real, o que pode agilizar processos de interpretação e recomendação de manejo.

A hipótese do trabalho está embasada na necessidade de estudo da variabilidade da resistência à penetração, que indica compactação do solo, especificamente para instruir formação de grade amostral, permitindo manejo a taxa variável com equipamentos agrícolas. Dessa forma, o objetivo foi caracterizar a variabilidade espacial da resistência à penetração em Latossolo Bruno, analisando diferentes densidades amostrais na mesma área, de modo a determinar a eficiência e possibilidade de uso de diferentes malhas amostrais no manejo do solo por operações motomecanizadas.

2. Metodologia

O presente trabalho é uma pesquisa experimental qualitativa (Pereira et al., 2018) que foi realizado na área experimental do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Paraná, localizado a 25° 33' latitude Sul e 51° 29' longitude Oeste e com altitude de aproximadamente 1100m. Segundo Köppen, o clima predominante na região é do tipo temperado Cfb, devido aos verões amenos, temperatura média no mês mais quente inferior a 22°C, temperatura média no mês mais frio abaixo de 18°C, com geadas

severas e sem estação seca definida. A precipitação pluvial anual média entre 1.600 a 2.000 mm (Iapar, 2018). O solo avaliado é classificado como Latossolo Bruno Distrófico típico (LBd) com textura muito argilosa (Santos et al., 2018). A declividade da área avaliada é menor que 3%.

A área de estudo tem 2000 m², e nesta foram adotadas três grades amostrais, sendo 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m. Para cada grade amostral foi determinada a resistência à penetração média do solo, utilizando o penetrógrafo eletrônico com haste do tipo cone 2, marca Falker modelo PLG1020 (Falker, 2009). A profundidade efetiva da penetrometria foi até 0,55 m, sendo que, para cada de 0,05 m realizou-se a confecção de um mapa temático com software Excel.

A análise dos dados foi realizada para diferentes intensidades de amostragem, simuladas pela exclusão de pontos amostrais distribuídos uniformemente pela área, sendo obtido grid amostral de 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas. Em seguida, os dados de cada camada estudada foram submetidos à análise estatística, com estruturação de gráficos contemplando eixo X para dados de grade 4x4 e no eixo Y, ora dados da grade 4x8 ora dados da grade 4x40. A análise dos dados, contou com construção de equação de regressão linear e respectivo coeficiente de determinação (R²).

Os dados de resistência à penetração foram classificados em três classes: 0-1,0 Mpa (baixa), 1,0-1,5 Mpa (médio, tolerável para cultivo); 1,5-3,0 (alto, apresentando dificuldade para desenvolvimento das plantas). Esta classificação baseia-se em resultados obtidos para o Latossolo Bruno em pesquisas recentes na UNICENTRO, devido às características específicas do solo que apresenta alto nível de matéria orgânica comparado a outros solos, nos quais considera-se problemático quando está acima de 2 MPa (Grego & Vieira, 2005).

Para verificar o efeito do número de pontos amostrais na qualidade do mapeamento, os valores de resistência à penetração das diferentes intensidades de amostragem (grade retangular 4 x 8 m e 4 x 40 m) foram correlacionados pela correlação de Pearson e coeficiente de determinação (R²) da equação linear com os valores da malha retangular com maior densidade amostral, sendo os 120 pontos originalmente avaliados (grade de 4 x 4 m). Também foi calculado o coeficiente de variação para cada grade amostral nas respectivas camadas. A decisão de avaliar a precisão dos dados foi baseada em trabalhos que relatam a alta variabilidade dos atributos físicos do solo em pontos relativamente próximos, mesmo em áreas de mesma unidade de manejo (Souza et al., 2004). Além disso, é necessário obter um número de amostras que assegure a confiança dos dados, permitindo acurácia na avaliação com menor custo possível (Tavares Filho & Ribon, 2008).

Também foi realizada comparação de mapa temático constando valores abaixo e acima de 1,7 MPa (simulando valor que causa danos às culturas em Latossolo Bruno), sendo valores abaixo (cor verde), considerados adequados para culturas anuais, não havendo necessidade de escarificação ou atuação de ferramentas que descompactem a camada compactada. Por outro lado, foi atribuída cor vermelha, para pontos com valores acima de 1,7 MPa, sendo considerados inadequados para desenvolvimento do sistema radicular, necessitando de intervenção com máquinas. Essas classes foram determinadas com base no trabalho de Andrade et al. (2013), os quais verificaram que na resistência de 1,9 Mpa o solo já poderia estar compactado.

Para os valores obtidos nas avaliações de campo para as três grades estudadas, foram atribuídas cores para cada ponto amostrado em cada grade. Assim como foram realizadas simulações devido ao tráfego das máquinas, selecionando a grade 4 x 40 m como área mínima para realizar apenas uma amostragem e com este valor inferir a necessidade de intervenção ou não. Neste sentido, foi utilizado para as demais grades, 4 x 4 m e 4 x 8 m, o maior valor dentre os pontos avaliados na faixa de trabalho (simulado com a grade 4 x 40 m), para atribuir cor verde ou vermelha. Diante das duas condições: primeira, dados coletados a campo; segunda, simulação, foi possível observar através do mapa temático a intensidade de manejo indicado, ora ausência de interferência (cor verde) ou atuação com máquinas que contenham hastes (cor vermelha).

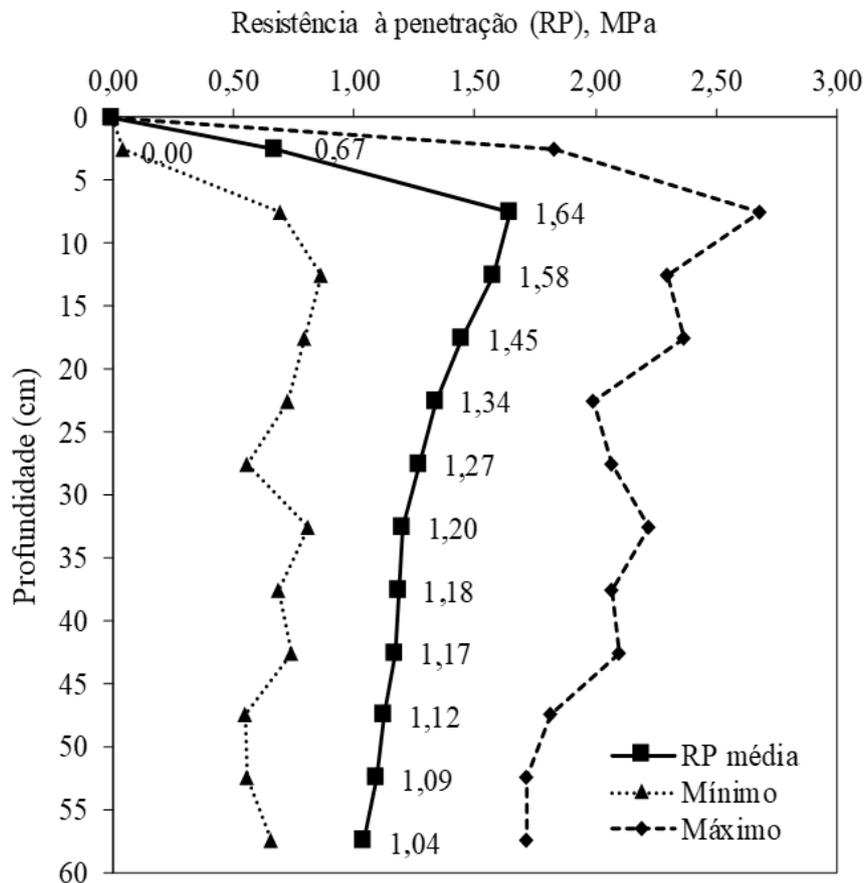
Para as três malhas estudadas foram realizadas a junção dos dados, separando-os em três faixas principais: 0,05-0,20 m, camada direcionada ao manejo com haste sulcadora ao identificar compactação; 0,25-0,49 m, camada direcionada ao manejo com escarificador/subsolador ao identificar compactação. Ao realizar a junção dos dados, foi identificado a primeira camada dentro de cada faixa, a qual apresentava valor de resistência à penetração superior a 1,7 MPa (simulando limite para indicar compactação em Latossolo Bruno).

3. Resultados e Discussão

O conteúdo de água do solo no momento da avaliação da RP foi de 44,29 e 42,78 % nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente, sendo este, considerado a capacidade de campo para o solo estudado. Segundo Moraes et al. (2012), é necessário fazer correção dos valores de resistência do solo à penetração de acordo com o teor de água do solo de referência.

Os valores médios de resistência à penetração (Figura 1) evidenciam que, a camada situada entre 0,05 e 0,20 m, são as que apresentam os maiores valores de resistência.

Figura 1. Valores médio, mínimo e máximo de resistência à penetração do solo (MPa) coletados em grade amostral de 4 x 4 m (120 pontos). Guarapuava/PR, 2017.



Fonte: Autores.

Franchini et al. (2009), relata que em sistema de plantio direto, a camada entre 0,10 e 0,20 m, apresentam as limitações mais acentuadas em termos de compactação do solo. A maior compactação do solo nas camadas superficiais é decorrente principalmente do tráfego de máquinas e implementos em condições de alto teor umidade no solo (Araujo et al., 2004). De forma que na camada 0-0,05 m tem constante atuação de disco duplo para implantar as culturas de inverno e atuação de disco duplo para distribuir fertilizante nas culturas de verão, propiciando menor resistência à penetração. Por outro lado, nas camadas abaixo de 0,05 m a compactação do solo proporcionada pelo tráfego de máquinas não é interrompida, pois, o uso isolado de disco duplo não atinge tal profundidade, na operação de implantação das culturas. Consequentemente, promove camadas com maior nível de resistência a penetração.

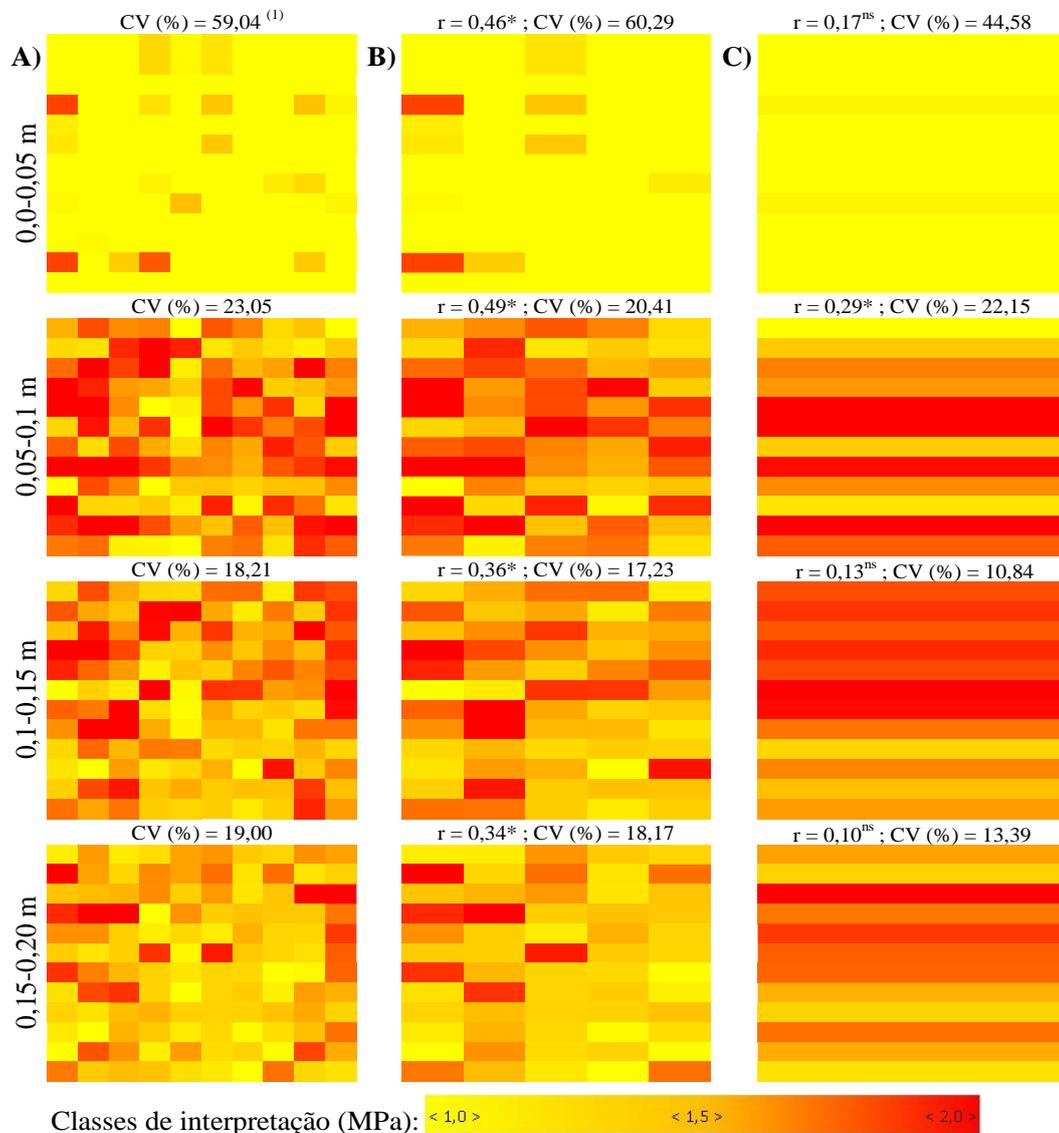
Importante destacar que ao observar os valores médios, não se detecta os pontos amostrais com valores que podem causar danos às culturas.

Valores de RP de 0,64 MPa, associados a densidade do solo de $1,32 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ são considerados limitantes ao desenvolvimento das raízes de milho (Bergamin et al., 2010), enquanto que para soja, são limitantes valores de RP de 1,84 MPa e densidade do solo de $1,35 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Valadão et al., 2015).

No mapa temático (Figura 2), também é possível verificar que a camada situada entre 0,05 e 0,20 m é a que apresenta os maiores valores de resistência à penetração. Além disso, quando realiza a comparação das diferentes malhas amostrais, onde 4 x 4 m seria a com maior densidade amostral, 4 x 8 m (intermediária) e 4 x 40 m com menor densidade amostral, foi verificado diminuição da coeficiente de correlação em todas as profundidades, fato este também relatado por Debiasi et al. (2011), que encontrou redução da correlação, relacionado à variabilidade dos atributos físicos do solo. Todavia, foi possível verificar que a camada 0-0,05 m apresentou maior coeficiente de variação dos dados, ou seja, evidenciando a variabilidade da camada superficial do solo que está diretamente ligado ao tráfego dos rodados das máquinas (Figura 2). Tais resultados são observados para as três malhas amostradas estudadas. Nas demais camadas a variabilidade identificada se assemelha, no entanto, na malha 4 x 40 m foi observado menor variação nas demais camadas, provavelmente devido a menor intensidade de pontos amostrados na área (Figura 2 e 3). Tal fato mostra que menor número de pontos amostrais não é suficiente para compreender a variabilidade existente na área.

Na Figura 2, foi possível verificar que a redução do número de pontos de 120 para 60 ou 12, alterou o resultado visível do mapa temático de RP. Quando foi verificado o coeficiente de correlação dos dados, onde o padrão seria com 120 pontos, foi observado redução significativa do R^2 em ambas as grades amostrais, sendo o R^2 médio da grade 4 x 8 m de 0,26 e da grade 4 x 40 m o R^2 médio foi de 0,07 em relação ao modelo padrão (4 x 4 m). As alterações, embora sejam visíveis no mapa temático, implicam em modificações importantes, podendo muitas vezes condicionar erros na interpretação dos mesmos e, conseqüentemente, no manejo proposto para o solo. A variabilidade espacial da RP é influenciada tanto pela profundidade do perfil do solo como pela intensidade de amostragem (Debiasi et al., 2011).

Figura 2. Mapa temático da resistência à penetração estratificada nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m pelas diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C) seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas. Guarapuava/PR, 2017.

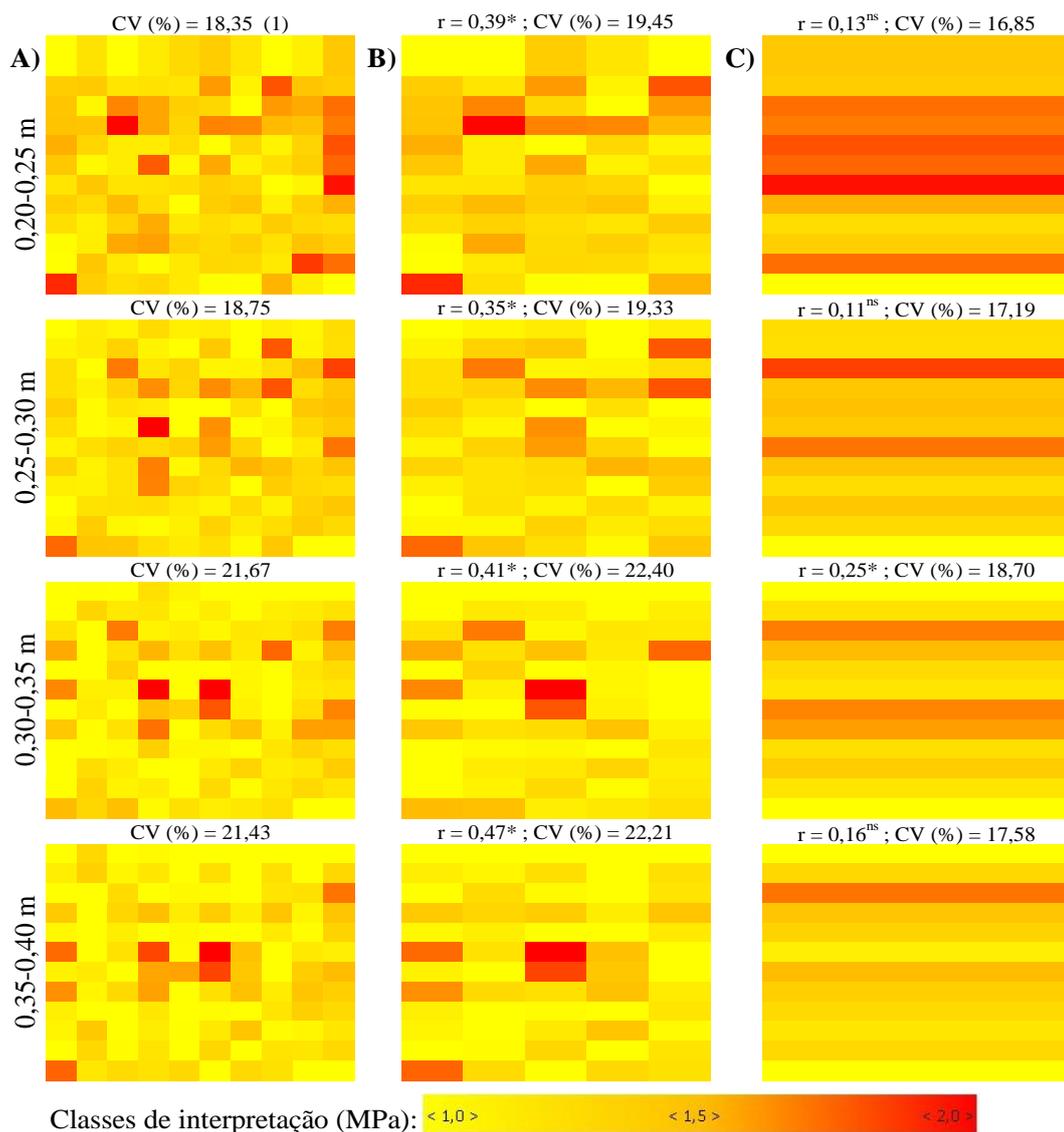


⁽¹⁾ CV (%): coeficiente de variação da amostragem; r: coeficiente de correlação de Pearson; *, ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade de erro e não significativo, respectivamente. Fonte: Autores.

A identificação da maior resistência a penetração nas camadas de 0,05 – 0,10 m, 0,10 – 0,15 m e 0,15 – 0,20 m, permite manejar a área de forma a eliminar compactação nestas camadas, as quais podem estar prejudicando o crescimento do sistema radicular das culturas, desenvolvimento das culturas e conseqüentemente minimização da produtividade das culturas anuais e redução da produção de matéria verde de aveia. Araújo et al. (2014) consideraram que, para exploração agrícola sustentável é fundamental conhecimento dos solos, pois, desta forma poderão ser adotados manejos adequados que proporcionem produtividades

continuamente satisfatórias e evitem a degradação dos solos. A construção de mapas é importante para a verificação e a interpretação da variabilidade espacial, pois as informações visuais fornecidas pelos mapas servem de auxílio na tomada de decisões.

Figura 3. Mapa temático da resistência à penetração estratificada nas camadas de 0,20-0,25 m, 0,25-0,30 m, 0,30-0,35 m e 0,35-0,40 m pelas diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C) seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas.



⁽¹⁾ CV (%): coeficiente de variação da amostragem; r: coeficiente de correlação de Pearson; *, ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade de erro e não significativo, respectivamente. Fonte: Autores.

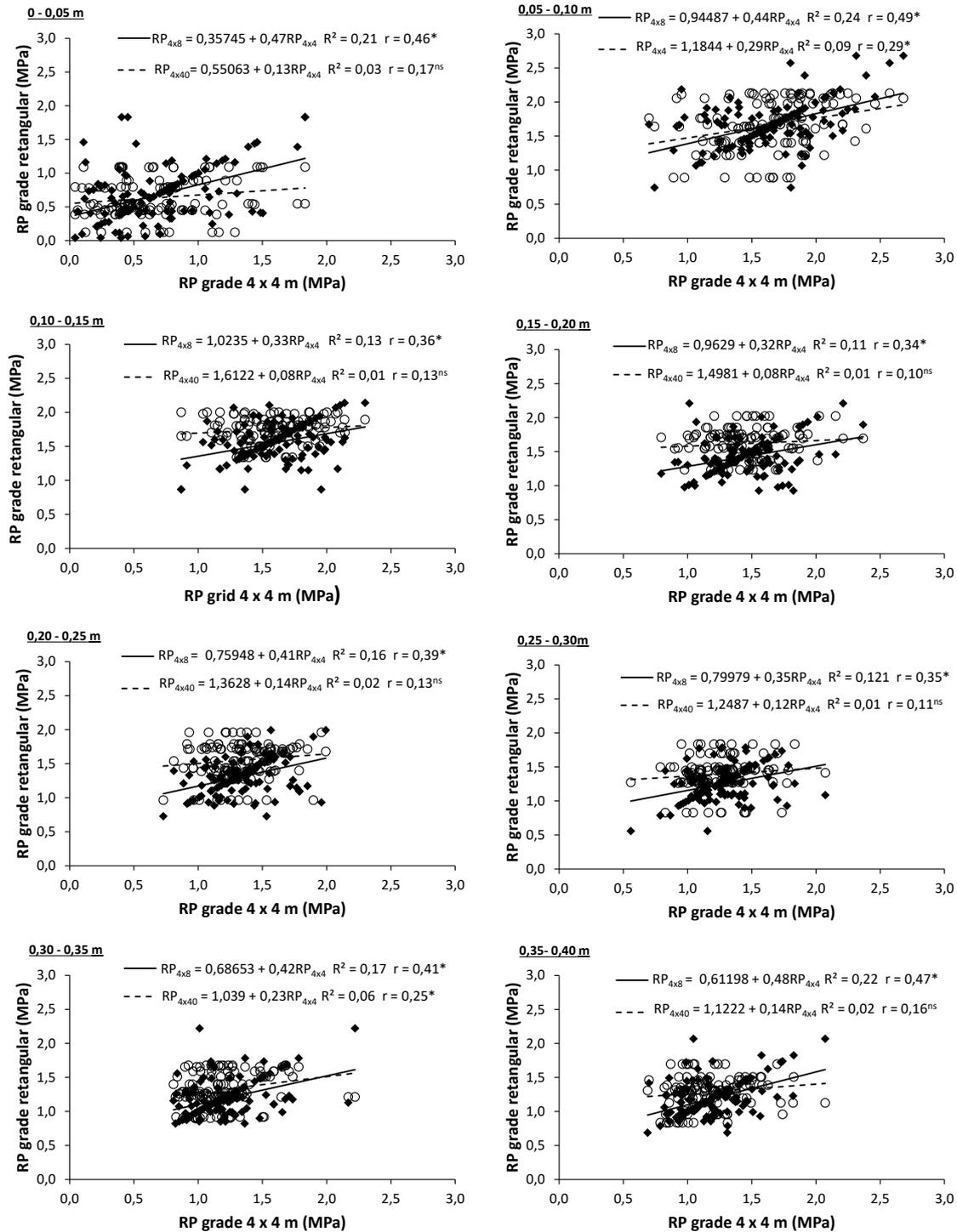
A interferência mecânica possível de ser realizada neste sistema, visto que já se realiza rotação de culturas, com uso de aveia e também uso de animais devido a ser sistema integrado de produção, pode ser necessário uso de hastes sulcadoras para implantação das culturas de

soja e milho, possibilitando atuar nas camadas até 0,20 m, principalmente nas linhas de semeadura, proporcionando condição mais adequada para o desenvolvimento das culturas. Contudo, é pertinente ressaltar que a presença das camadas com maior resistência a penetração pode prejudicar o desenvolvimento de culturas implantadas apenas com disco duplo, principalmente as culturas de inverno, as quais podem ter maior dificuldade de aproveitar a umidade do perfil do solo. Fato que prejudica a produção de matéria verde para a alimentação animal e rápida recuperação de aveia após pastejo.

Já nas camadas mais profundas, abaixo de 0,20 m, apresentaram valores menores de resistência à penetração, provavelmente por menor interferência do tráfego de máquinas nestas camadas, repercutindo características intrínsecas ao próprio solo. Caso identificar resistência à penetração que interfira no desenvolvimento nestas camadas pode ser necessário atuação de escarificação mecânica e até mesmo subsolagem em camadas mais profundas.

Ao analisar as Figuras 2 e 3 foi possível constatar alterações visuais, que pode aparentar não ser tão acentuada, ao comparar as diferentes malhas amostrais. Contudo, ao realizar a elaboração de relação linear entre os valores da menor grade amostral com 4 x 8 m e 4 x 40 m foi identificado diferenças, visto que a grade amostral retangular 4 x 8 m apresentou mais similaridade com a menor grade (4 x 4 m), tanto que mostrou maior valor de coeficiente de correlação para todas as camadas estudadas. Por outro lado, a grade retangular 4 x 40 m apresentou valores baixos de coeficiente de correlação ao testar equações lineares para todas as profundidades, evidenciando diferenças ao utilizar grade amostral menos intensa para estudar resistência à penetração (Figura 4). Tais resultados estão relacionados à elevada variabilidade dos atributos físicos do solo, que reflete na necessidade de elevada quantidade de pontos amostrais para ter conhecimento da variabilidade do solo (Souza, 2007).

Figura 4. Relação da resistência à penetração das diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C) nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m, 0,15-0,20 m, 0,20-0,25 m, 0,25-0,30 m, 0,30-0,35 m e 0,35-0,40 m seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas.



Fonte: Autores.

A redução da intensidade amostral causou alteração visual nos mapas, comprovado com resultado dos valores de coeficiente de correlação ao comparar as malhas 4x8 e 4x40 com a malha menor (4x4). O coeficiente de correlação evidenciou que os resultados de resistência a penetração na malha 4x8 é mais semelhante ao 4x4, enquanto que a malha 4x40 apresenta baixo valor de coeficiente de correlação para algumas camadas estudadas. É evidente que a redução da precisão dos dados, pode prejudicar a interpretação dos dados e indicação do manejo, sendo necessário ter conhecimentos destas diferenças para estruturar métodos adequados de interpretação e recomendação.

Assim, mesmo, utilizando intensidade amostral da RP menos intensa, os resultados obtidos permitem orientar adequadamente o manejo de solo, ao executar operação a taxa fixa. Neste contexto, grade amostral menos intensa pode ser suficiente para avaliar grande extensões de área, ao estar respaldada por avaliações preliminares em áreas menores com maior intensidade amostral. Segundo Souza (2007) é desnecessário conhecer minuciosamente a variabilidade do solo, como o caso da resistência penetração, pois, já é sabido que o solo tem elevada variabilidade.

Conforme mencionado, em situações de avaliação que ao identificar problemas de camadas com maior resistência a penetração, irá proceder com interferência motomecanizada em toda a propriedade pode ser suficiente menor grade amostral. Mesmo assim, é recomendado realizar avaliação inicial em menor área, para conhecer os níveis específicos da variabilidade de RP, e, posteriormente aplicar grades de amostragem maiores, para obter maior rendimento amostral. Segundo Rodrigues et al. (2012) e Santi et al. (2012), para se obter informações detalhadas das características de um solo é necessário amostragem intensiva por meio de uma malha amostral. Tal procedimento permitirá indicar manejo dentro do contexto da propriedade (avaliação preliminar mais aprofundada), mas, avaliar toda a área, com menor número de avaliações e proceder a interferências de forma uniforme em toda a área.

Por outro lado, ao analisar os resultados obtidos, verificou-se que malhas 4x8 alcançou coeficiente de correlação maior que a malha 4x40, ao comparar com a malha reduzida de 4x4. Fato, que caso tenha possibilidade de utilizar alto nível de avaliação da resistência à penetração do solo, constata-se que seria ideal a malha 4x4, e se aproxima a 4x8. Mas, não seria adequado o uso da malha 4x40. Assim, vale a pena ressaltar que a agricultura de precisão passa por constante evolução, tanto que já é possível realizar o manejo à taxa variável ou manejo sítio-específico mesmo para escarificadores e subsoladores. Assim, o

manejo localizado possibilita melhorar a eficiência dos processos de produção agrícola, respeitando a variabilidade espacial do solo e planta.

A utilização de escarificadores e subsoladores permite romper camadas identificadas com maior resistência à penetração e que estejam em níveis danosos ao desenvolvimento das culturas. Giacomeli et al. (2016) ressaltam os efeitos da escarificação na qualidade do solo, a qual pode romper camadas compactadas e ainda melhorar alguns atributos físicos como a densidade do solo e a porosidade do solo.

Nas Figuras 4 foi realizado gráficos com as equações de regressão linear para as camadas estudadas, identificado a relação das malhas 4 x 8 m e 4 x 40 m com a malha 4 x 4 m. Com os resultados, obteve-se as equações possíveis de serem utilizadas para a maioria das camadas, no caso da malha 4 x 8 m, contudo, para a malha 4 x 40 m, apenas algumas camadas as equações foram consideradas significativas. Mesmo por esta outra formação das informações, é possível verificar a dificuldade em utilizar dados de malhas amostrais menos intensas, não trazendo correlação com dados de malha mais intensa, e, nem mesmo podendo ser utilizada para obter informações adequadas, pois não apresentam correlação significativa.

Na Figura 5, nota-se nos mapas temáticos, a diferença existente entre utilizar um ponto amostrado como referência de toda a faixa de operação como indicativo de compactação para realizar manejo com máquina, independente da malha amostral estudada. Logicamente, na malha 4 x 40 m o resultado é igual, pois já havia realizado apenas uma coleta por faixa que simula operação motomecanizada (faixa 4 x 40 m), estando diretamente ligado se o ponto amostrado indicará problema ou não, sem ter certeza se é uniforme em toda a faixa analisada. Em contrapartida, na malha 4 x 8 m e malha 4 x 4 m, houve indicação de faixas compactadas e outras sem compactação, o que também variará com os pontos amostrados utilizados para inferir problema de compactação na faixa, sobretudo, tem-se maior possibilidade de utilizar equipamento para descompactar por possibilidade amostrar em mais pontos.

Figura 5. Simulação de pontos amostrados e faixas seguindo o formato de implantação das culturas na área pelo deslocamento das máquinas, para resistência à penetração abaixo (verde) e acima de 1,7 Mpa (vermelho), evidenciando camada compactada, nas diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C) nas camadas de 0-0,05 m, 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m, 0,15-0,20 m, 0,20-0,25 m, 0,25-0,30 m, 0,30-0,35 m, 0,35-0,40 m, 0,40-0,45 m, 0,45-0,50 m, 0,50-0,55 m e 0,55-0,60 m.



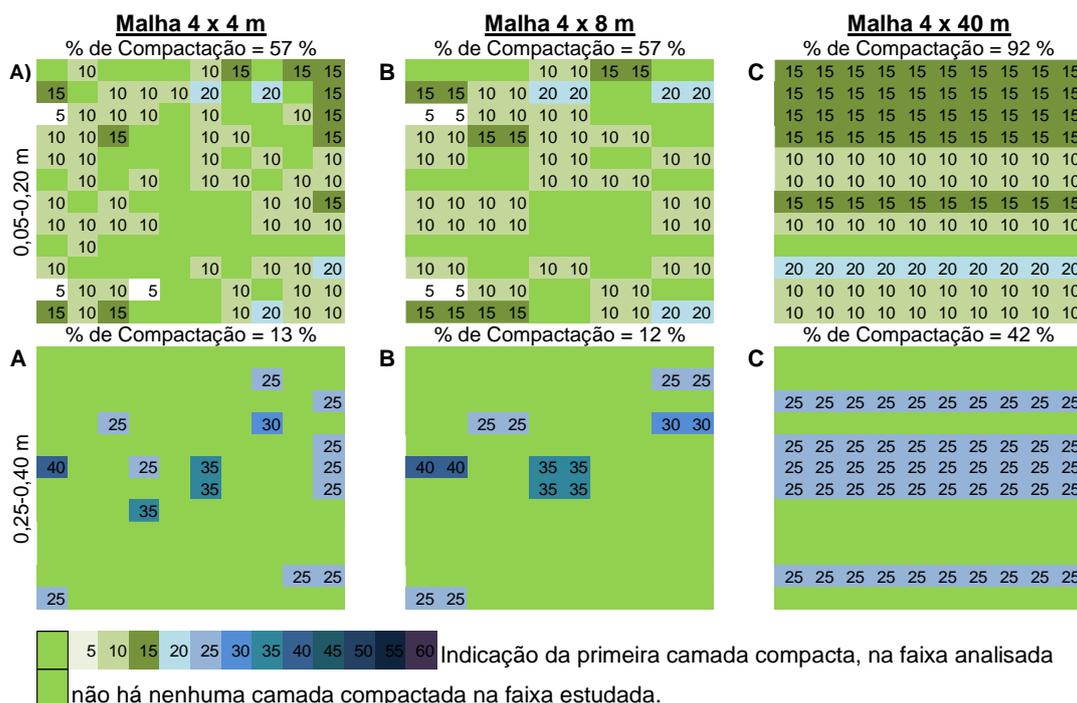
Fonte: Autores.

O uso de malhas menores fica prejudicado quando o manejo será realizado com faixa de trabalho muito alongada (próximo a 40 m), mas, se utilizar todos os pontos, é possível

realizar manejo a cada 4 metros (em 4 x 4 m) e a cada 8 m (em 4 x 8 m). De forma geral, é importante destacar que o uso de um ponto para atribuir informação para toda a faixa de trabalho indica realização de operação em muitos pontos desnecessários, sendo considerado o principal problema de manejo a taxa fixa. Já, ao utilizar malha amostral 4 x 4 m permite manejo a taxa variável com execução adequada da atividade. Conhecendo os locais críticos, com problemas de compactação, é possível diminuir os custos de operações pelo manejo in sítio específico.

O uso de malha amostral 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m indicaram pontos de compactação na faixa superficial de 0,05-0,20 m, indicando uso de haste sulcadora em semeadora em 57, 57 e 92 % da área, respectivamente (Figura 6).

Figura 6. Simulação para indicar camada compactada na faixa de 0,05-0,20 m (haste sulcadora na semeadora), 0,25-0,40 m (escarificador/subsolador) conforme possível manejo para eliminar compactação, nas diferentes amostragens em grade retangular de 4 x 4 m (A), 4 x 8 m (B) e 4 x 40 m (C).



Fonte: Autores.

Enquanto que as faixas de 0,25-0,40 m indicaram 13, 12 e 42 % de compactação nas malhas 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m, respectivamente, locais onde deveria utilizar escarificador/subsolador. Nas faixas de 0,25-0,40 m a utilização de malha amostral intensa possibilita recomendar escarificação e/ou subsolagem a taxa variável com elevada precisão e

economia de combustível. Em experimento, Gorucu et al. (2001) obtiveram 42,8% de redução de custo ao utilizar subsolagem a taxa variada em comparação com taxa fixa. Por outro lado, nota-se que a faixa superficial de 0,05-0,20 m evidencia ainda mais os problemas causados pelo tráfego do rodado das máquinas, apresentando pontos compactados sem orientação definida, o que pode indicar problemas de baixa produtividade das culturas, por apresentar pontos com elevada resistência do solo (em torno de 57% da área com problemas de compactação, acima de 1,7 MPa, na simulação testada).

Neste novo contexto, a utilização de grade amostral reduzida é fundamental para ter informações específicas da variabilidade de todos os pontos da propriedade. Tal fato proporciona atuação diretamente nos pontos da superfície do solo e das camadas do solo que apresentem problema. É oportuno salientar a importância de sistema de posicionamento geográfico com elevada eficiência e exatidão para conseguir realizar manejo extremamente específico. Também é necessário reduzido tempo de reação dos comandos hidráulicos para entrar em operação os equipamentos agrícolas, no ponto necessário.

4. Considerações Finais

O Latossolo Bruno estudado apresentou maior resistência a penetração na camada que compreende 0,05 e 0,2 m de profundidade do perfil do solo.

Para realizar manejo motomecanizado a taxa fixa em toda a área, a malha 4x40 pode ser utilizada, pois, permitiu identificar nível elevado de resistência a penetração, mesmo em área de 0,2 ha.

Ao executar manejo a taxa variada, a malha ideal é 4x4, sendo possível uso da malha 4x8, pois, permite identificar locais específicos de elevada resistência à penetração.

A utilização de apenas um ponto de amostragem em faixa de operação proporciona atuação de máquinas em pontos com ausência de compactação.

O uso de malha amostral 4 x 4 m, 4 x 8 m e 4 x 40 m indicaram pontos de compactação na camada superficial de 0,05-0,20 m, indicando uso de haste sulcadora em semeadora em 57, 57 e 92 % da área, respectivamente.

A utilização de malha amostral de elevada intensidade permite determinar exatamente os pontos compactados nas camadas de 0,25-0,40 m, indicando escarificá-los ou subsolá-los.

Muito pouco se conhece da variabilidade do solo e das metodologias para avaliação de grandes áreas agrícolas e por isso, são cometidos muitos erros nas recomendações de manejo.

Nesse sentido, torna-se imprescindível estudos para preencher essas lacunas entre a pesquisa e a realidade agrícola.

Agradecimentos

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e Fundação Araucária (Fundação Araucária de Apoio Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná), pelo apoio financeiro.

Referências

Andrade, R. da S., Stone, L. F., & de Godoy, S. G. (2013). Estimation of soil resistance to penetration based on the S index and effective stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(9), 932–937. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000900004>

Araújo, D.R, Mion, R. L., Sombra, W. A., Andrade, R. R. De, & Amorim, M. Q. (2014). Spatial continuity of soil physical attributes submitted to different use and soil management. *Revista Caatinga*, 27(2), 101–115. chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?pdf=https%3A%2F%2Fperiodicos.ufersa.edu.br%2Fin dex.php%2Fcaatinga%2Farticle%2Fdownload%2F2723%2Fpdf_118%2F

Araujo, M. A., Tormena, C. A., Inoue, T. T., & Costa, A. C. S. (2004). Effects of chiseling on physical quality of a dystroferric red latosol after thirteen years of no-tillage. *Brazilian Society of Soil Science*, 28(3), 495–504. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832004000300011>

Bergamin, A. C., Vitorino, A. C. T., Franchini, J. C., de Souza, C. M. A., & de Souza, F. R. (2010). Induced compaction of a rhodic acrustox as related to maize root growth. *Brazilian Society of Soil Science*, 34(3), 681–691. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832010000300009>

Bernardi, A. C. de C., Bettiol, G. M., Grego, C. R., Andrade, R. G., Rabello, L. M., & Inamasu, R. Y. (2015). Ferramentas de agricultura de precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 211–227.

Bottega, E. L., de Queiroz, D. M., Pinto, F. de A. de C., & de Souza, C. M. A. (2013). Spatial variability of soil attributes in no a no-tillage system with crop rotation in the Brazilian savannah. *Revista Ciencia Agronomica*, 44(1), 1–9. <https://doi.org/10.1590/s1806-66902013000100001>

Carneiro, J. S. D. S., Gomes De Faria, Á. J., Fidelis, R. R., Silva Neto, S. P. Da, Santos, A. C. Dos, & Silva, R. R. Da. (2016). Diagnosis and management of spatial variability of soil fertility in the Cerrado. *Scientia Agraria*, 17(3), 38–49. <https://doi.org/10.5380/rsa.v17i3.50096>

Cortez, J. W., Mauad, M., Souza, L. C. F. de, Rufino, M. V., & Souza, P. H. N. de. (2017). Agronomical attributes of soybeans and soil resistance to penetration in no-tillage and chiseled surfaces. *Engenharia Agrícola*, 37(1), 98–105. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v37n1p98-105/2017>

Debiasi, H., Franchini, J. C., Álvares De Oliveira, F., & Martins Machado, T. (2011). Adjustment of sampling grids for soil resistance to penetration mapping in a Haplohumox. *Agricultura de Precisão: Um Novo Olhar*, 2, 138–142.

Falker. (2009). *Electronic soil compaction manual* (Patent No. PenetroLog, PLG1020).

Franchini, J., Debiasi, H., Sacoman, A., Nepomuceno, A., & Farias, J. (2009). Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca. *Documento 314-Embrapa Soja*, 39.

Giacomeli, R., Marchesan, E., Sartori, G. M. S., Donato, G., da Silva, P. R. F., Kaiser, D. R., & Aramburu, E. B. B. (2016). Deep tillage and furrow opener seeders for corn cropping in Planosols. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 51(3), 261–270. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000300008>

Girardello, V. C., Amado, T. J. C., Santi, A. L., Cherubin, M. R., Kunz, J., & Teixeira, T. de G. (2014). Soil penetration resistance, efficiency of mechanical chisel plowing and soybean grain yield in a clayey Oxisol under long-term no-till. *Brazilian Society of Soil Science*, 38(4), 1234–1244. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020>

- Girardello, V. C., Amado, T. J. C., Santi, A. L., Lanzasova, M. E., & Tasca, A. (2017). Soil penetration resistance and soybean root growth under no till with controlled traffic farming. *Scientia Agraria*, 18(2), 86–96. <https://doi.org/10.5380/rsa.v18i2.50693>
- Gorucu, S., Khalilian, A., Han, Y., Dodd, R., Wolak, F., & Keskin, M. (2001). *Variable Depth Tillage Based on Geo-Referenced Soil Compaction Data in Coastal Plain Region of South Carolina*. <https://doi.org/10.13031/2013.7322>
- Grego, C. R., & Vieira, S. R. (2005). Spatial variability of soil physical properties on an experimental plot. *Brazilian Society of Soil Science*, 29, 169–177.
- Iapar. (2018). *Precipitação Anual*. Atlas Climático Do Paraná. Recuperado de <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>
- Mion, R. L., Nascimento, E. M. S., Sales, F. A. D. L., Silva, S. F. Da, Duarte, J. M. L., & Sousa, B. M. De. (2012). Spatial variability of total porosity, moisture and soil resistance to penetration of a yellow ultisol. *Semina: Ciências Agrárias*, 33(6), 2057–2066. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n6p2057>
- Moraes, M. T. de, Debiassi, H., Franchini, J. C., & Silva, V. R. da. (2012). Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. *Brazilian Society of Soil Science*, 36(6), 1704–1713. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600004>
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. UFSM, NTE.
- Pereira, J. O., Lamb, J. R., Bracarense, J. C., Defossez, P., Richard, G., Silva, S. de L., Pordeus, R. V., & Diniz, M. J. (2017). Determination of the soil compaction in real time on field with plate penetrometer and data filtering system. *African Journal of Agricultural Research*, 12(13), 1112–1120. <https://doi.org/10.5897/ajar2016.11465>
- Reynolds, W. D., Drury, C. F., Yang, X. M., & Tan, C. S. (2008). Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. *Geoderma*, 146(3–

4), 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.06.017>

Rodrigues, M. S., Corá, J. E., & Fernandes, C. (2012). Soil sampling intensity and spatial distribution pattern of soils attributes and corn yield in no-tillage system. *Engenharia Agrícola*, 32(5), 852–865. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000500005>

Santi, A. L., Amado, T. J. C., Cherubin, M. R., Martin, T. N., Pires, J. L., Flora, L. P. Della, & Basso, C. J. (2012). Principal component analysis of soil chemical and physical attributes limiting grain yield. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47(9), 1346–1357. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900020>

Santos, H. dos, Jacomine, P., Anjos, L. dos, Oliveira, V. de, Lumbreras, J. F., Coelho, M., Almeida, J. de, Araujo Filho, J. de, Oliveira, J. de, & Cunha, T. J. F. (2018). *Brazilian system of soil classification - Embrapa* (5a ed.). Recuperado de <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>

Souza, E. R. (2007). *Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas de um Neossolo Flúvico cultivado com cenoura irrigada com água moderadamente salina* [Universidade Federal Rural de Pernambuco]. Recuperado de [http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/4942/2/Edivan Rodrigues de Souza.pdf](http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/4942/2/Edivan%20Rodrigues%20de%20Souza.pdf)

Souza, Z. M., Marques Júnior, J., Pereira, G. T., & Bento, M. J. C. (2004). Spatial variability of physical attributes of Oxisol under sugarcane crop. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(1), 51–58. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662004000100008>

Stefanoski, D. C., Santos, G. G., Marchão, R. L., Petter, F. A., & Pacheco, L. P. (2013). Soil use and management and its impact on physical quality. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(12), 1301–1309. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>

Tavares Filho, J., & Ribon, A. A. (2008). Variation in soil penetration resistance in response to sample number and sampling type. *Brazilian Society of Soil Science*, 32(2), 487–494. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000200003>

Valadão, F. C. de A., Weber, O. L. dos S., Valadão Júnior, D. D., Scapinelli, A., Deina, F. R., & Bianchini, A. (2015). Phosphorus fertilization and soil compaction: soybean and maize root system and soil physical properties. *Brazilian Society of Soil Science*, 39(1), 243–255. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20150144>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Jhonatan Spliethoff – 40%

Leandro Rampim – 30%

Cristiano André Pott – 20%

Sebastião Brasil Campos Lustosa – 10%