

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO EXCESSO DE VELOCIDADE NA PRESSÃO MÁXIMA REGISTRADA PELO PENETRÔMETRO EM ÁREAS DE ARRANQUIODE CAFEEIROS

ROSALRA MARIA ALVES DE MORAIS<sup>1</sup>, GABRIEL ARAÚJO E SILVA FERRAZ<sup>2</sup> AMARA LANA DE ABREU<sup>3</sup>, FRANCK MORAIS DE OLIVEIRA<sup>4</sup>, ALDIR CARPES MARQUES FILHO<sup>5</sup>, ARTHUR CORREIA DE NOGUEIRA<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Escola de Engenharia (EENG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG. rosalra.morais1@estudante.ufla.br

<sup>2</sup> Professor Dr. Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Escola de Engenharia (EENG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG.

<sup>3</sup> Mestranda Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Escola de Engenharia (EENG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG

<sup>4</sup> Doutorando Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Escola de Engenharia (EENG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG

<sup>5</sup> Professor Dr. Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Escola de Engenharia (EENG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG

<sup>6</sup> Graduando Eng. Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), Escola de Engenharia (EENG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras – MG

Apresentado no  
LIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2024  
6 a 8 de agosto de 2024 – Natal – RN, Brasil

**RESUMO:** Quando se utiliza o penetrômetro para medir os valores de resistência que o solo apresenta a haste, é necessário aplicar uma força ao equipamento, que, em algumas medições pode ocorrer um excesso de velocidade, o que pode afetar a coleta de dados e sua acurácia. O objetivo deste estudo foi classificar por intermédio de técnica de Aprendizado de Máquinas se a ocorrência de excesso de velocidade de penetração no solo do penetrômetro influenciou na pressão máxima registrada pelo equipamento. O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Helena, localizada no município de Lavras, estado de Minas Gerais, Brasil, em uma área de 18 hectares destinadas ao cultivo de cafeeiros. Os dados foram coletados por um penetrômetro digital em 48 pontos georreferenciados por um GNSS do tipo navegação após o arranquio da lavoura cafeeira. As variáveis analisadas foram a ocorrência do excesso de velocidade de penetração no solo, pressão máxima e a profundidade da pressão máxima, coletadas pelo penetrômetro. As análises de estatística descritiva e técnicas de aprendizado de máquinas foram realizadas utilizando o software Orange Canvas. Os resultados demonstraram que na classificação realizada, houve a ocorrência de excesso de velocidade do penetrômetro em altos índices de pressão máxima registrada. Portanto, destaca-se que o uso de técnicas de Aprendizado de Máquinas é uma importante ferramenta para auxiliar no manejo da cultura do café.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agricultura de precisão e digital, Mecanização agrícola, Inteligência Artificial.

**CLASSIFICATION OF THE INFLUENCE OF THE OCCURRENCE OF EXCESSIVE SPEED IN RELATION TO THE MAXIMUM PRESSURE RECORDED BY THE PENETROMETER IN A COFFEE STARTING AREA**

**ABSTRACT:** When using the penetrometer to measure the resistance values that the soil presents to the rod, it is necessary to apply a force to the equipment, which, in some measurements, may result in excess speed, which may affect data collection and its accuracy. The objective of this study was to classify, using Machine Learning techniques, whether the occurrence of excessive penetration speed into the soil of the penetrometer influenced the maximum pressure recorded by the equipment. The experiment was conducted at Fazenda Santa Helena, located in the municipality of Lavras, state of Minas Gerais, Brazil, in an area of 18 hectares destined for the cultivation of coffee trees. The data was collected by a digital penetrometer at 48 points georeferenced by a navigation-type GNSS after the coffee crop was started. The variables analyzed were the occurrence of excess speed of penetration into the soil, maximum pressure and the depth of maximum pressure, collected by the penetrometer. Descriptive statistics analyzes and machine learning techniques were performed using Orange Canvas software. The results demonstrated that in the classification carried out, there was an occurrence of excess speed of the penetrometer at high levels of maximum pressure recorded. Therefore, it is highlighted that the use of Machine Learning techniques is an important tool to assist in the management of coffee cultivation.

**KEYWORDS:** Precision and digital agriculture, Agricultural mechanization, Artificial Intelligence.

**INTRODUÇÃO:** Avaliação e a sondagem do solo na averiguação do seu estado de compactação são procedimentos necessários para a análise da qualidade física do solo (LIMA et al., 2013). O processo é definido como uma compressão no volume de um solo não saturado instigada por causas de natureza antrópica que reduzem o espaço poroso pela expulsão de ar e, em alguns casos, de água (HILLEL, 1982). O tráfego contínuo de máquinas agrícolas, especialmente em condições de alta umidade do solo, pode levar à compactação excessiva na superfície e subsuperfície do solo, junto a falta de diversificação de espécies vegetais e, muitas vezes, a má cobertura do solo proporcionada pelos resíduos da cultura (BARETA JUNIOR *et al.*, 2022; LIMA; PETTER; LEANDRO, 2015, e SHAFFIH-HADADI et al., 2009). A compactação tem sido amplamente estudada no contexto da Agricultura de Precisão e o indicador mais utilizado para sua medição é a resistência do solo à penetração (SPR) empregando penetrômetro (MOLIN et al., 2015). A utilização de diferentes sistemas inteligentes baseados em inteligência artificial (IA) auxiliam na avaliação dos dados para ajudar os agricultores na tomada de decisão, baseada no uso de modelos de aprendizagem de máquinas (ISHANA et al., 2023). Diante do exposto, objetiva-se com este trabalho classificar por intermédio de uma técnica de Aprendizado de Máquinas se a ocorrência de velocidade em excesso da penetração do solo do penetrômetro influenciou a pressão máxima registrada pelo equipamento, em uma área o arranquio de uma lavoura de cafeeiros.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi desenvolvido na Fazenda Santa Helena, situada no município de Lavras no estado de Minas Gerais entre os dias de 02 de junho a 10 de outubro de 2023. A área experimental era composta por uma lavoura de cafeeiros (*Coffea Arábica* L.) da cultivar Topázio MG 1190, plantada no espaçamento 3,5m entre linhas x 0,70m entre plantas, abrangendo uma área de 18 hectares. As coletas dos dados de resistência do solo a penetração (RSP) foram obtidas por meio da utilização de um penetrômetro digital Falker modelo PLG1020, manual, para aferição a 60 cm de profundidade em relação à superfície, em 48 pontos georreferenciados por um equipamento GNSS do tipo navegação. A coleta foi realizada após o arranquio dos cafeeiros existentes na área. Esta operação agrícola foi realizada por um trator do tipo esteira metálica com peso 17627 kg, equipado com um implemento do tipo lâmina, para decepar e retirar o vestígio de plantação presente na parte visível do solo. Após este processo, realizou-se a coleta dos dados com demarcação da posição geográfica e coleta dos dados de resistência a penetração do solo. O penetrômetro, além de coletar os dados de resistência do solo a penetração, também coletou a ocorrência do excesso de velocidade de penetração no solo, a medição completa aferida pelo penetrômetro, a profundidade máxima trabalhada na coleta de dados, o tipo de cone e a profundidade da pressão máxima. Os dados

foram analisados pelo Método Adaboost para realizar uma classificação, se a ocorrência de excesso de velocidade influenciou a pressão máxima registrada pelo equipamento. Como dados de entrada para o treinamento, foram selecionadas as variáveis de resistência do solo a penetração e a profundidade máxima alcançada pelo equipamento, e como saída do algoritmo foi utilizada a ocorrência de excesso de velocidade. Para a análise dos parâmetros estatísticos e a simulação do modelo Adaboost para as variáveis em estudo, foi utilizado o software Orange Canvas (Demsar et al., 2013).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Trabalhando com os dados adquiridos pelo penetrômetro digital, foram gerados resultados referentes à estatística descritiva para a demonstração da variação dos valores coletados pelo penetrômetro, conforme a TABELA 1. A média aritmética demonstra o centro dos dados coletados. Já o desvio padrão apresentado demonstrou o quanto os dados estão dispersos em relação à média aritmética, ou seja, quanto mais distantes estão dos valores da média, maior a dispersão dos dados.

TABELA 1. Resultados da estatística descritiva dos dados coletados no arranquio do cafeeiro

	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
PM	3736,5	1357	3696,50	3320	6844
PPM	25,7	15	23,50	5	59
OEV	0,875	0,334	1	0	1

PM – Pressão Máxima (kPa); PPM – Profundidade da Pressão Máxima (cm); OEV – Ocorrência de excesso de velocidade.

Baseado na estatística descritiva apresentada, foi aplicada o algoritmo Adaboost para observar o comportamento dos dados na obtenção de uma resposta categórica. Para o treinamento do algoritmo a pressão máxima e a profundidade da pressão máxima foram as variáveis de entrada e a ocorrência de excesso da velocidade foi a variável de saída. Ao fim do treinamento, o modelo obteve uma acurácia de 85,40% demonstrando o percentual de previsões acertadas em meio a todas as previsões realizadas para a classificação dos dados. A precisão foi de 84,80%, mostrando quais as previsões de eventos acertadas entre as previsões realizadas, sensibilidade de 85,40%, que apresentou um percentual de acertos quando considerada a soma dos verdadeiros positivos com os falsos negativos (Silva & Sátiro, 2024) e AUC de 0,631, que avalia se o modelo faz previsões boas ou ruins, neste caso a curva AUC não apresentou um bom resultado, pois de acordo com Polo & Miot (2020) para AUC de 0,7 significa que há uma chance de a classificação estar correta em 70% dos casos. Devido ao baixo número de amostras disponíveis para o treinamento, a tendência foi de que houvesse baixo índice de previsão da classificação, como foi o caso de a AUC ser menor do que 0,70. No entanto, este algoritmo é muito mais rápido para convergir do que os demais. Isto é uma vantagem significativa ao se trabalhar com um grande volume de dados, em especial, quando se deseja avaliar intervalos de hiperparâmetros. De acordo com testes realizados em vários datasets públicos, ele se mostrou até 20 vezes mais rápido no treinamento (KE et al., 2017). Contudo, para os menores índices de profundidade máxima, houve um maior índice da ocorrência de excesso de velocidade do penetrômetro, e, por consequência, foi aplicado um maior uso de força no manuseio do equipamento, pois esta não pode ser controlada por um equipamento manual. A principal diferença está relacionada à velocidade de inserção da haste no solo, que pode ser constante ou interferir nos resultados das medições *in situ*, segundo o operador (Derrick & Jones, 2002). A confiabilidade dos dados gerados pelos penetrômetros manuais está diretamente relacionada ao controle da velocidade da haste durante a inserção no solo, embora manter uma velocidade constante seja quase impossível (Carrara et al., 2007). Assim, quando a velocidade não é constante, a força aplicada também não o é (Derrick & Jones, 2002); se a velocidade de inserção da haste for acelerada, a força aumenta e diminui no caso de desaceleração (Sol et al., 2006).

**CONCLUSÕES:** Os resultados deste trabalho não obtiveram efeitos significantes por meio do valor da AUC. Entretanto, ocorreu a classificação dos dados como estipulado, com um comportamento dos dados que indicaram que foram classificados corretamente em relação a acurácia apresentada pelo modelo. Comprovando que a ocorrência do excesso de velocidade do penetrômetro influenciou na pressão máxima registrada, devido ao maior uso de força no manuseio do equipamento. Os dados de compactação do solo causado pelas diversas passadas de máquinas agrícolas que foram treinados pela Adubos, trouxeram à tona a importância do uso de análises estatísticas e do uso de técnicas de Inteligência Artificial no auxílio da tomada de decisão em sistemas de gestão e manejo do solo.

**AGRADECIMENTOS:** UFLA, CNPq (projeto 305953/2020-6 e 310186/2023-4), FAPEMIG (projeto PPE-00118-22), EMBRAPA Café - Consórcio Pesquisa Café (projeto 10.18.20.041.00.00), CAPES e PPGEA/UFLA.

### **REFERÊNCIAS:**

- BARETA JUNIOR, E., GENÚ, A. M., RAMPIM, L., UMBURANAS, R. C., & POTT, C. A.. Critical limits of soil physical attributes for corn and black oat in a Xanthic Hapludox. *Revista Ciência Agronômica*, v. 53, e20207533, 2022.
- DEMSAR, J., CURK, T., ERJAVEC, A., GORUP, C., HOCEVAR, T., MILUTINOVIC, M., MOZINA, M., POLAJNAR, M., TOPLAK, M., STARIC, A., STAJDOHAR, M., UMEK, L., ZAGAR, L., ZBONTAR, J., ZITNIK, M., ZUPAN, B. Orange: data mining toolbox in Python. *J Mach Learn Res* 14(1): 2349-2353, 2013.
- HERRICK, J.E., JONES, T.L. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Ciência do Solo. Soc. Sou. J.*, 66:1320-4, 2002.
- HILLEL, D. Introduction to soil physics. New York: Academic Press; 1982.
- ISHANA, A., LALIT, K. A., TEEK, P. S., PRIYANKA, R., A review of deep learning techniques used in agriculture. *Ecological Informatics*. Volume 77, 102217, ISSN 1574-9541, 2023.
- KE, G., MENG, Q., FINLEY, T., WANG, T., CHEN, W., MA, W., YE, Q., LIU, T. Y. LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. In: 31ST CONFERENCE ON NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS (NIPS 2017), Long Beach, CA. Anais [...]. Long Beach, CA: NIPS, 2017. p. 3147-3155, 2017.
- LIMA, L. B.; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 11, p. 1064-1071, 2015.
- POLO, T. C. F., MIOT, H. A. Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. *Jornal Vascular Brasileiro*, 19, e20200186, 2020.
- MOLIN, J. P., AMARAL, L. R., COLAÇO, A. F. *Agricultura de Precisão*. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 224p, 2015.
- RUIHU, W. AdaBoost for Feature Selection, Classification and Its Relation with SVM, A Review, *Physics Procedia*, Volume 25, Pages 800-807, ISSN 1875-3892, 2012.
- SAFFIH-HDADI, K., DÉFOSSEZ, P., RICHAD, G., CUI, Y.J., TANG, A.M., CAPELÃO, V. A. method for predicting soil susceptibility to compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. *Solo até Res*. 105:96-103, 2009.
- SILVA, J. E., SÁTIRO, R. M.. O poder preditivo dos modelos boosting de machine learning no mercado brasileiro de ações. *Contabilometria - Brazilian Journal of Quantitative Methods Applied to Accounting*, Monte Carmelo, v. 11, n. 1, p. 52-68, jan.- jun./2024.
- SOL., Y., LIN, J., LOUCO., ZENG, Q., SCHULZE, P.L. Penetration force measurement using aHall current sensor. *Solo até Res.*, 92:264-268, 2006.