

Implantação da agricultura de precisão para manejo diferenciado em sistema de produção de cafés especiais na região sul de Minas Gerais

Precision agriculture implementation for differentiated management in a specialty coffee production system in the southern region of Minas Gerais

Célia Regina Grego¹, Gustavo Costa Rodrigues², Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues³, Eduardo Antonio Speranza⁴, Ariovaldo Luchiari Júnior⁵, Luciano Vieira Koenigkan⁶, Carlos César Ronquim⁷, Adauto Luiz Mancini⁸, Débora Pignatari Drucker⁹

¹ Pesquisadora, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, celia.grego@embrapa.br

² Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, gustavo.rodrigues@embrapa.br

³ Pesquisadora, Embrapa Territorial, Campinas (SP), Brasil, cristina.rodrigues@embrapa.br

⁴ Analista, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, eduardo.speranza@embrapa.br

⁵ Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, ariovaldo.luchiari@embrapa.br

⁶ Analista, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, luciano.vieira@embrapa.br

⁷ Pesquisador, Embrapa Territorial, Campinas (SP), Brasil, carlos.ronquim@embrapa.br

⁸ Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, adauto.manchini@embrapa.br

⁹ Analista, Embrapa Agricultura Digital, Campinas (SP), Brasil, debora.drucker@embrapa.br

RESUMO

A região sul do estado de Minas Gerais é grande produtora de café classificado como especial, e a caracterização espacial dos aspectos ambientais é importante para determinar a produção e a qualidade da bebida café ao longo do talhão. Nessa linha, encontra-se em desenvolvimento um estudo de caracterização espacial dos fatores ambientais considerando a variabilidade espacial de duas regiões representativas de produção de cafés especiais (*Coffea arabica*) do sul de Minas Gerais, relacionando-os a fatores de produção e de qualidade do grão e da bebida. O estudo tem como objetivo caracterizar espacialmente os atributos do solo e os índices vegetativos das plantas nos talhões com diferentes faces de exposição ao sol durante o ciclo produtivo do café. O estudo também é piloto para o repositório de dados de pesquisa da Embrapa (Redape), onde os dados estão sendo organizados para que possam ser acessados no futuro e reusados, seja para contribuir para novas descobertas, seja para permitir a reprodução do estudo. Com o mapeamento das informações ambientais, com as zonas de manejo e as correlações entre os dados espera-se identificar a interferência na produtividade e na qualidade dos cafés produzidos nessas regiões, auxiliando o produtor na tomada de decisão para obter melhorias na produtividade.

Palavras-chave: cafeicultura de precisão; variabilidade espacial; base de dados.

ABSTRACT

The southern region of Minas Gerais state is a large producer of special coffee, as environmental aspects and the characterization of environmental aspects are important to determine the production and quality of coffee in the area. In this line, a study of spatial characterization of environmental factors is being developed, considering the spatial variability of two representative regions of production of specialty coffees (*Coffea arabica*) in the south of Minas Gerais, relating the factors of production, quality, and coffee drink. The study aims to spatially characterize the soil attributes and the vegetation index of the plants in the area with different faces of sun exposure, during the coffee production cycle. All data from this study were stored in Embrapa's research data repository (Redape) where the data are organized for future access and reused, either to contribute to new findings or to allow the study to be reproduced. With the mapping for environmental information, with the zones of management and

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000021>

Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

the correlations between the data, it is expected that the interference in the productivity and quality of the coffees in specific regions, will help the farmer in the decision-making to obtain the productivity increase.

Keywords: precision coffee growing; spatial variability; database.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura muito importante para a economia brasileira. Minas Gerais, estado que contempla a maior área de café, é responsável por aproximadamente 60% de toda a área cultivada no país. Considerando todas as regiões produtoras do estado, a área cultivada continua em expansão, sendo que em 2022 houve aumento de 2,8% em relação a 2021 (Companhia Nacional de Abastecimento, 2022).

A cafeicultura de precisão está modernizando cada vez mais o setor, principalmente quando se trata da produção de cafés especiais, que possuem valor agregado maior que o dos convencionais e exigem maiores cuidados quanto ao manejo da cultura no campo (Silva; Alves, 2013; Rodrigues et al., 2019). Aspectos importantes considerados na produção de cafés especiais, como os fatores ambientais, relevo, tipo e atributos físicos e químicos do solo, além do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta, apresentam variações espaciais que devem ser consideradas.

Quando um talhão passa a ser manejado conforme as zonas diferenciadas de manejo dá, consequentemente, suporte para a identificação de padrões ambientais que resultem em melhores condições para a produção de cafés especiais e que auxiliam o produtor na tomada de decisão para obter melhorias na qualidade, sustentabilidade, menor emissão de carbono e competitividade da produção (Rodrigues et al., 2019; Speranza et al., 2019). Essa é a principal hipótese do projeto de pesquisa desenvolvido pela Embrapa Agricultura Digital de título “Caracterização ambiental dos sistemas de produção de cafés especiais em

função da variabilidade espacial e suas relações com a produção e qualidade em duas regiões do sul de Minas Gerais”, financiado pelo Programa do Consórcio Pesquisa Café e que se encontra em desenvolvimento desde 2019, com previsão de término em 2024.

Considerando o exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados preliminares do estudo sobre a caracterização da variabilidade espacial do solo e da planta nas áreas de cultivo de café no sul de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi iniciado no âmbito da rede de agricultura de precisão da Embrapa em 2017 e encontra-se em continuidade no projeto de pesquisa acima citado. Nos anos de estudo de 2017 a 2019 foram selecionadas as áreas – no talhão da Fazenda Santa Cruz, no município de Paraguaçu, variedade Catucaí, com aproximadamente 5 ha, e no talhão da Fazenda Morro Alto, no município de Conceição da Aparecida, variedades Catucaí IAC-144, Obatã e Catucaí Amarelo, com aproximadamente 1,5 ha (Figura 1a). A partir de 2020 houve mudança de área, devido a problemas operacionais, da Fazenda Morro Alto para área da Fazenda Roselândia, no município de Carmo do Rio Claro. A área da Fazenda Roselândia possui três talhões correspondentes às variedades Mundo Novo (2 ha), Catucaí (1,6 ha) e Arara (1,5 ha). Em meados de 2021, a área da Fazenda Santa Cruz foi muito afetada pela geada, e por isso também houve uma mudança dessa área

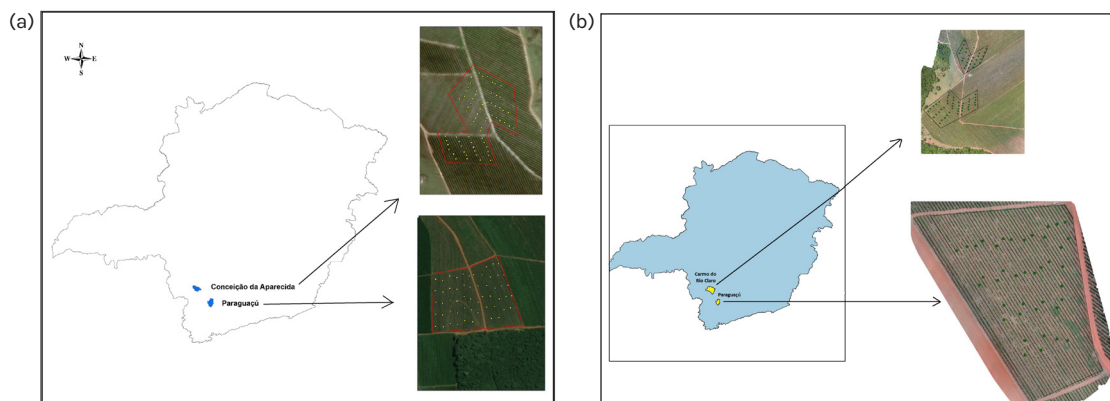


Figura 1. Áreas de estudo em talhões de café: a) Fazenda Morro Alto, em Conceição da Aparecida/MG, e Fazenda Santa Cruz, em Paraguaçu/MG; b) Fazenda Roselândia, em Carmo do Rio Claro/MG, e Fazenda Santa Cruz, em Paraguaçu/MG. Imagens obtidas por câmera com sistema de cores RGB (Red, Green and Blue) a bordo de veículo aéreo não tripulado (VANT).

de estudo para novo talhão, área de 3 ha dentro da mesma fazenda, com a variedade Catucaí (Figura 1b).

- Obtenção de imagens VANT

As áreas atuais de estudo das Fazendas Santa Cruz e Roselândia foram imageadas em novembro de 2019 e setembro de 2021 com VANT a 40 m de altura, acoplado a câmera RGB modelo DJI Mavic 2 Pro. As imagens foram importantes para verificar o desenvolvimento vegetativo das plantas no final da floração e início do desenvolvimento dos grãos.

- Coleta de dados de solo e planta

Foram amostrados 75 pontos para a Morro Alto e 56 pontos para a Santa Cruz, em 2017 (Figura 1a), no início do desenvolvimento de grãos, para obter os dados de índice vegetativo e clorofila das plantas. Nos pontos amostrais, as medidas com o sensor Crop Circle geraram o índice de vegetação da diferença normalizada pelo Vermelho (NDVI) (Rouse Júnior et al., 1974) e o índice de vegetação da diferença normalizada pelo Red-Edge (NDRE). Com o sensor SPAD-502 foram obtidos os dados de índice relativo de clorofila (IRC). A altitude local foi obtida nos pontos de coordenadas pelo GPS. No ano de 2019 também foi obtido o NDVI na Fazenda Santa Cruz. Para a área da Fazenda Roselândia (Figura 1b), foi investigada a dependência espacial nos atributos da fertilidade do solo em três variedades de café (Mundo Novo, Catucaí e Arara). O solo Latossolo Vermelho-Escuro foi amostrado a 0 cm - 20 cm de profundidade em 25 pontos georreferenciados em cada face de exposição ao sol dos talhões.

- Análises geoestatística e de agrupamento

Os dados foram analisados utilizando-se estatística descritiva e geoestatística composta pelo semivariograma ajustado para cada atributo conforme Vieira (2000). Os parâmetros de ajuste foram utilizados pelo interpolador krigagem ordinária para gerar os mapas dos atributos do solo e da planta. A partir desses mapas foram planejadas as análises de agrupamento a partir das combinações de NDVI, NDRE e IRC de entrada, obtendo-se os potenciais mapas de zonas de manejo. Para a execução dos agrupamentos foi utilizado o algoritmo Fuzzy c-means (FCM) (Kitchen et al., 2005) e definida a quantidade de grupos para as zonas de manejo para as Fazendas Morro Alto e Santa Cruz (Figura 1a). A correlação entre os mapas de zonas de manejo foi verificada com o índice *kappa* (Cohen, 1960).

- Análise de correlação para construção de regressores

Regressores foram construídos e testados para análise de correlação entre dados de solo e planta com produção de café em maio de 2021 na Fazenda Santa Cruz (Figura 1a). A colheita foi realizada em duas plantas por cada um dos 40 pontos de amostragem. Os regressores foram construídos pelo método de regressão linear, rede neural multicamadas e árvore de decisão J48 do software Weka (Quinlan, 1986). Foi utilizada a linguagem R no software Rstudio, depois usados no Weka para o aprendizado de máquina.

- Plano de gestão de dados

Todos os dados estão sendo organizados a partir do plano de gestão de dados, numa ferramenta amplamente adotada com um instrumento para assegurar as melhores práticas de gestão de dados (Michener, 2015). O plano prevê o depósito dos dados no Repositório de Dados de Pesquisa da Embrapa (Redape). De acordo com a Embrapa (2022), o Redape é uma plataforma que visa preservar e facilitar a busca por dados de pesquisa produzidos pela empresa. A plataforma permite a organização, o gerenciamento e a publicação de dados de acordo com os princípios que norteiam a gestão de dados científicos em todo o mundo, incluindo a acessibilidade, a interoperabilidade, a reprodutibilidade e o reuso. O plano está sendo colocado em execução e os dados estão sendo organizados para que possam ser acessados no futuro e reusados, seja para contribuir para novas descobertas, seja para permitir a reprodução do estudo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados submetidos a análise de dependência espacial foram interpolados e os mapas gerados conforme mostrado na Figura 2. Houve variabilidade espacial para os índices de vegetação (NDRE, NDVI), clorofila (IRC) e altitude. Na Fazenda Santa Cruz foi observada uma relação visual inversa entre altitude e NDVI, sendo que os maiores valores de NDVI foram encontrados nas áreas mais baixas do campo. Os mapas de NDRE e IRC mostram manchas de variabilidade com distribuição semelhante. Na Fazenda Morro Alto, a face da direita apresentou maior uniformidade. Tais fatos indicam, segundo Rodrigues et al. (2019), que técnicas de manejo devam ser realizadas em função dessa variabilidade.

A partir dos mapas de krigagem (Figura 2), foram executadas análises de agrupamento, utilizando-se sete combinações de atributos como dados de entrada para o algoritmo: I) NDVI, NDRE e IRC; II) NDVI e

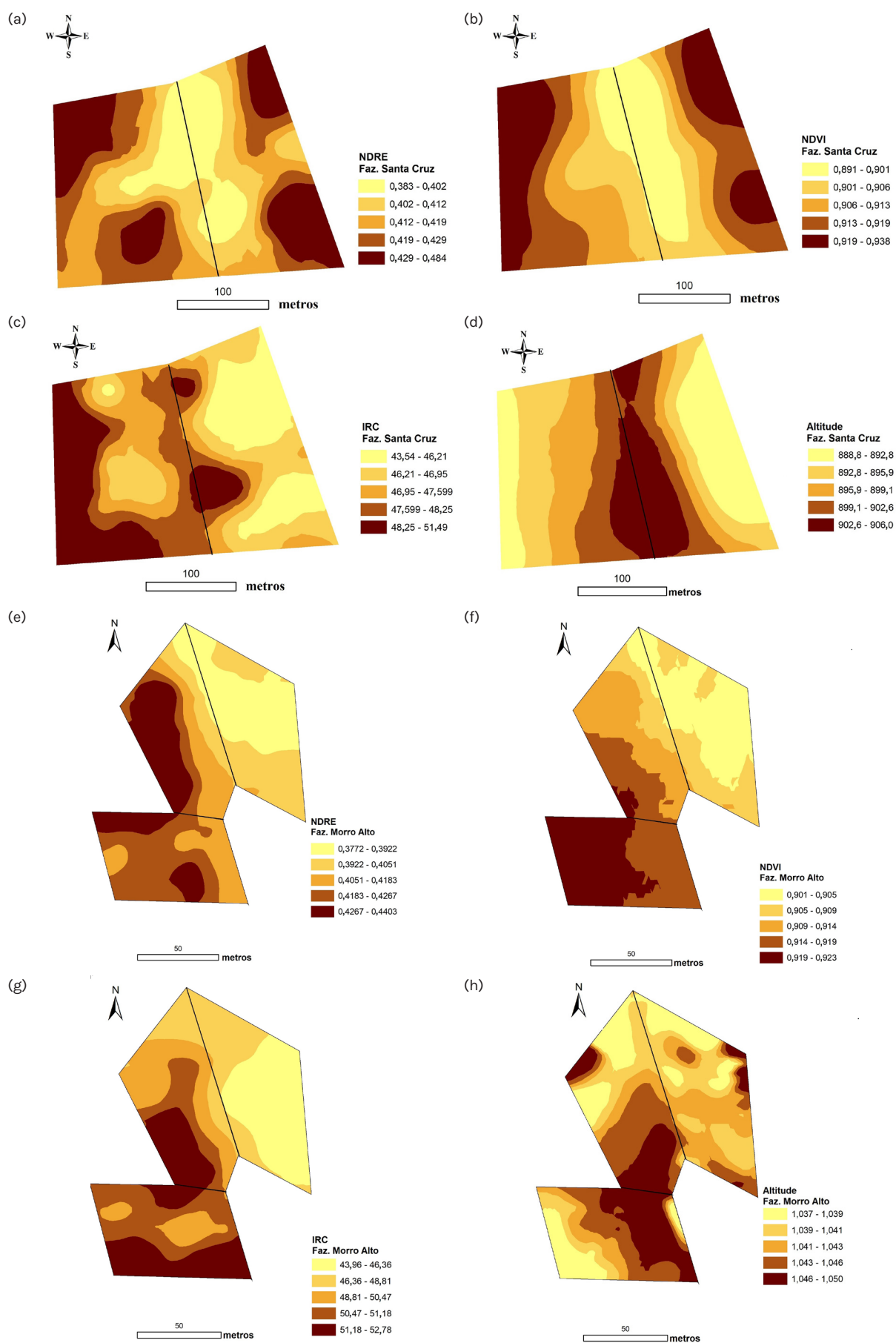


Figura 2. Mapas de valores interpolados por krigagem ordinária para os dados de: a) NDRE; b) NDVI; c) IRC; e d) Altitude, para a Fazenda Santa Cruz; e) NDRE; f) NDVI; g) IRC; e h) Altitude, para a Fazenda Morro Alto.

Tabela 1. Resultados de concordância a partir do índice kappa das duas áreas de estudo considerando as combinações de atributos como dados de entrada para o algoritmo: I) NDVI, NDRE e IRC; II) NDVI e NDRE; III) NDVI e IRC; IV) NDRE e IRC; V) NDVI; VI) NDRE; e VII) IRC.

Índice	Combinações (atributos de entrada)						
	(I)	(II)	(III)	(IV)	(V)	(VI)	(VII)
Fazenda Santa Cruz							
kappa	-0,09	0,09	0,04	0,44	0,03	0,11	0,52
classe (kappa)	pobre	leve	leve	moderada	leve	leve	moderada
Fazenda Morro Alto							
kappa	0,52	-0,47	-0,51	-0,79	-0,41	-0,44	0,77
classe (kappa)	moderada	pobre	pobre	pobre	pobre	pobre	substancial

Tabela 2. Análise de regressores para a fertilidade do solo na área da Fazenda Santa Cruz.

Regressor	Coefficiente de Pearson	Erro médio	Média da raiz do erro quadrático
Regressão linear	0,1038	2,4549	3,2976
Rede neural multicamadas	0,0263	2,498	3,421
Árvore de decisão	0,0936	2,4601	3,301

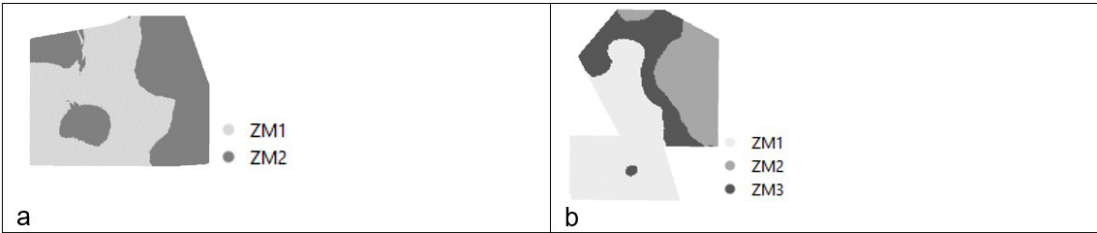


Figura 3. Potenciais zonas de manejo (identificadas por diferentes tons de cinza) considerando a combinação VII - IRC: a) Área da Fazenda Santa Cruz; b) Área da Fazenda Morro Alto.

NDRE; III) NDVI e IRC; IV) NDRE e IRC; V) NDVI; VI) NDRE; e VII) IRC (Tabela 1).

Houve concordância no máximo moderada para a área da Santa Cruz (Tabela 1) quando utilizados NDRE e IRC (IV) combinados e, principalmente, quando foi utilizado o IRC de maneira isolada (VII). Na área da Morro Alto, os melhores resultados foram obtidos utilizando-se todos os atributos (I), com concordância moderada, e utilizando-se apenas o IRC (VII), com concordância substancial. Portanto, de acordo com Speranza et al. (2019), foi evidenciado que o IRC é importante para o delineamento de zonas de manejo. Na Figura 3 são mostrados os mapas de potenciais zonas de manejo considerando o IRC com duas zonas de manejo para área da Santa Cruz e três zonas para a área da Morro Alto. Entretanto, outros dados de solo e de planta, considerando outras fases da cultura, deverão ser incluídos e explorados a fim de obter respostas conclusivas.

A análise de dependência espacial da fertilidade do solo na Roselândia (Figura 1b) permitiu o mapeamento de pH, potássio, magnésio, acidez total e saturação por bases. Os mapas da Figura 4 mostram a interpolação desses atributos, o que traz o diferencial da cafeicultura de precisão para indicação do manejo localizado do solo de acordo com cada variedade de cultivo.

Como resultado da análise de correlação com uso de regressores nos dados de solo e planta para a produção de café na Santa Cruz (Figura 1a), foram realizadas várias combinações (índices de reflectância e SPAD; NDVI e o SPAD; todas as variáveis da análise de solo e com as porcentagens de potássio, cálcio, magnésio, sódio, alumínio e hidrogênio). Na Tabela 2 temos os resultados para o uso de todos os dados da análise de solo.

Todos os algoritmos de aprendizado de máquina utilizados para previsão da produção tiveram resultados ruins. Três hipóteses são consideradas: a primei-

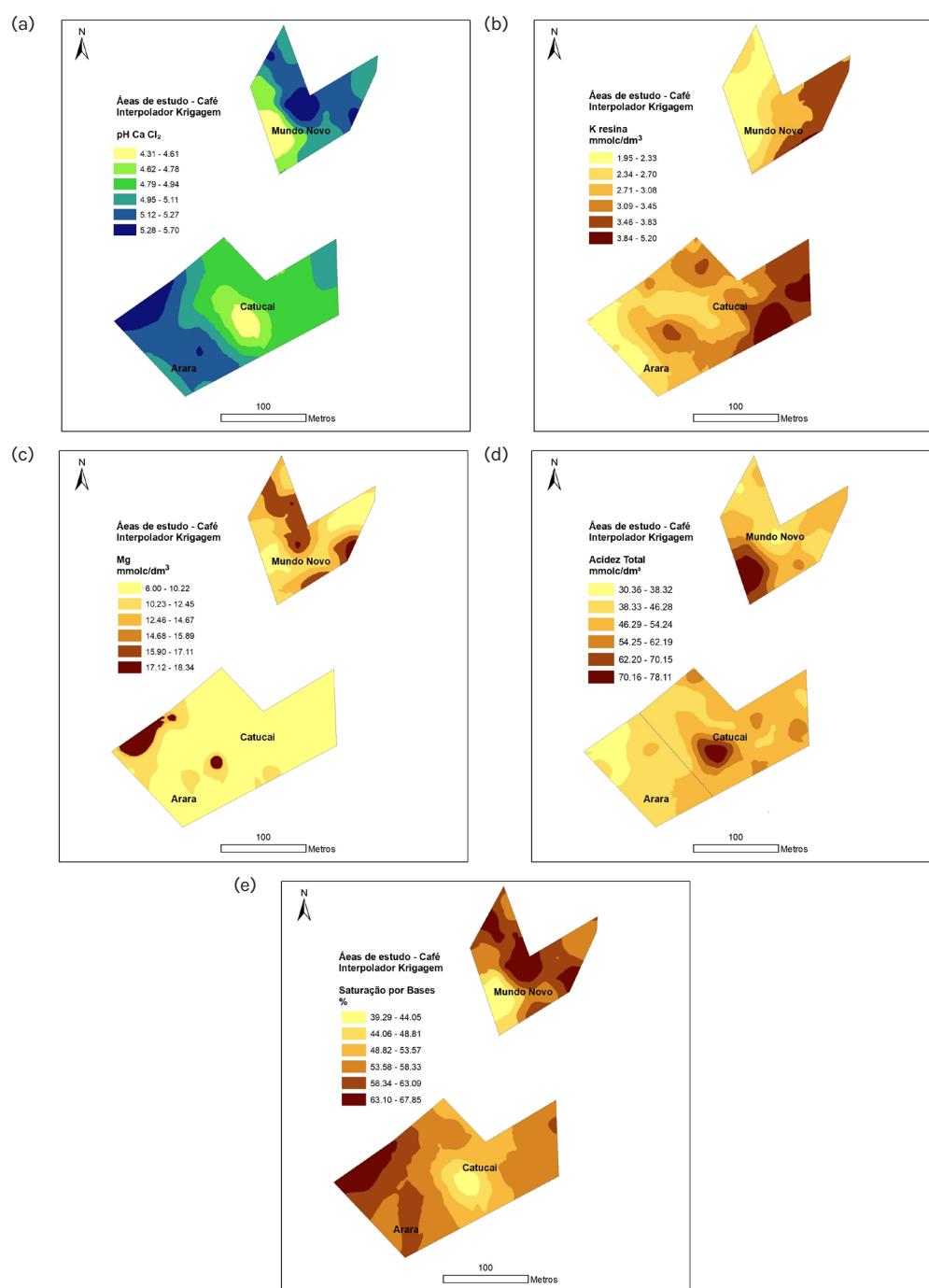


Figura 4. Mapas de valores interpolados por krigagem ordinária para a área da Fazenda Roselândia: a) pHCaCl₂; b) K Resina; c) Mg mmol_c / dm³; d) Acidez total mmol_c / dm³; e) Saturação por bases (%).

ra é que a ocorrência de valores muito discrepantes na produção do café interferiu na estimativa do valor da produção; a segunda é que existem poucos dados de produção (40 instâncias) para o treino dos regressores; e a terceira é que os dados apresentam uma grande complexidade para se estabelecer uma correlação com a produção. Contudo, duas tendências parecem ser indicativas para observação futura: as árvores de decisão tiveram melhor desempenho e os dados de

análise de índices de vegetação foram mais eficientes do que os de solo para a previsão da produção.

Todos os dados desse estudo obtidos até o momento estão organizados no Redape, como geração de resultados do projeto no que se refere à base de dados (Grego et al., 2022). Em relação ao compartilhamento dessa base de dados, até o momento, os dados estão restritos à equipe do projeto; após a divulgação na forma de publicações técnicas, artigos científicos

ou eventos, os dados, em comum acordo com os parceiros, serão públicos.

4 CONCLUSÕES

Com base no estudo preliminar, observou-se a ocorrência de variabilidade espacial indicando que dentro dos talhões de café ocorrem manchas diferenciadas em relação ao solo e à planta, as quais devem ser consideradas no manejo da cultura. Essas constatações serão validadas incluindo-se outros dados de solo em diferentes fases fenológicas do cafeeiro. Mapas de produtividade e qualidade do grão serão correlacionados com as variáveis biofísicas e micrometeorológicas, além da inclusão e análise de atributos de solo e utilização de sensores capazes de monitorar o microclima das áreas. Esses dados servirão para potencializar as análises realizadas até o momento, proporcionando tomadas de decisão mais precisas com relação ao manejo da cultura e que priorizem melhorias na qualidade da produção de cafés especiais.

AGRADECIMENTOS

As equipes das fazendas Santa Cruz, Morro Alto e Roselândia, pelo total apoio em campo.

REFERÊNCIAS

- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, v. 20, p. 37-46, 1960.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF: CONAB. Safra 2022, v.9, n. 3, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 27 de setembro de 2022.
- EMBRAPA. **Redape – Repositório de Dados de Pesquisa da Embrapa**. Disponível em <https://www.redape.dados.embrapa.br/>. Acesso em: 19 de outubro de 2022.
- GREGO, C. R.; SPERANZA, E. A.; KOENIGKAN, L. V.; LUCHIARI JÚNIOR, A.; RODRIGUES, C. A. G.; RODRIGUES, G. C. Análise da variabilidade espacial de solo e planta do café do sul de Minas Gerais. Brasília: Embrapa/Redape, 2022. DOI: <https://doi.org/10.48432/MFXQ9P>.
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; MYERS, D. B.; DRUMMOND, S. T.; HONG, S. Y. Delineating productivity zones on claypan soil fields using apparent soil electrical conductivity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 285-308, 2005. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.012>.
- MICHENER, W. K. Ten simple rules for creating a good data management plan. **PLoS Computational Biology**, v. 11, n. 10, p. e1004525, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004525>.
- QUINLAN, J. R. Induction of decision trees. **Machine Learning**, v. 1, n. 1, p. 81-106, 1986. DOI: <http://doi.org/10.1007/BF00116251>.
- RODRIGUES, G. C.; GREGO, C. R.; LUCHIARI, A.; SPERANZA, E. A. Caracterização espacial de índices de vegetação índice relativo de clorofila em áreas de produção de cafés especiais no sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10., 2019, Vitória. **Anais [...]**. Vitória: Embrapa, 2019.
- ROUSE JÚNIOR, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: GODDARD SPACE FLIGHT CENTER 3D ERTS-1 SYMP, v. 1, seção A, 1974, Greenbelt. **Proceedings [...]**. Greenbelt: NASA, 1974.
- SILVA, F. M.; ALVES, M. C. **Cafeicultura de precisão**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 227 p.
- SPERANZA, E. A.; GREGO, C. R.; RODRIGUES, G. C.; LUCHIARI, A. Influência das diferentes faces de exposição ao sol na caracterização da variabilidade espacial de culturas de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA (SBIAGRO), 12., 2019, Indaiatuba. **Anais [...]**. Indaiatuba: Embrapa, 2019.
- VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (orgs.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54.