



## Cor do solo na identificação de áreas com diferentes potenciais de produtividade para a cultura do café.

**Danilo Almeida Baldo do Carmo<sup>(1)</sup>; José Marques Júnior<sup>(2)</sup>; Diego Silva Siqueira<sup>(3)</sup>; Angélica Santos Rabelo de Souza Bahia<sup>(4)</sup>; Laércio Santos Silva<sup>(5)</sup>; Henrique Menezes Santos<sup>(6)</sup>**

<sup>(1)</sup> Estudante; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/Universidade Estadual Paulista – FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo; [danilo\\_baldo@hotmail.com](mailto:danilo_baldo@hotmail.com); <sup>(2)</sup> Professor; FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo; [marques@fcav.unesp.br](mailto:marques@fcav.unesp.br); <sup>(3)</sup> Estudante; FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo; [angelicasantorsabelo@yahoo.com.br](mailto:angelicasantorsabelo@yahoo.com.br); <sup>(4)</sup> Estudante; FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo; [diego\\_silvasiqueira@yahoo.com.br](mailto:diego_silvasiqueira@yahoo.com.br); <sup>(5)</sup> Estudante; FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo; [laerciosantos18@gmail.com](mailto:laerciosantos18@gmail.com); <sup>(6)</sup> Estudante; FCAV/UNESP, Jaboticabal, São Paulo; [henrique-menezes@hotmail.com](mailto:henrique-menezes@hotmail.com);

**RESUMO:** A cor do solo, obtida pela espectroscopia de reflectância difusa (ERD), gera valores que auxiliam na definição de estratégias para uso do solo, pois é um atributo morfológico influenciado pelos fatores e processos de formação do solo, podendo ser utilizada como preditora da variabilidade de atributos do solo. O trabalho, teve como objetivo, verificar o potencial da cor do solo quantificada pela técnica de ERD na identificação de áreas com diferentes potenciais de produtividade da cultura do café. Foram coletadas 173 amostras de solo, na profundidade de (0,0-0,20m), em uma área de 35 hectares, determinando-se os atributos referentes à cor: matiz e índice de avermelhamento (IAV). Foram coletados os frutos do café em nove plantas, determinando a produtividade desta unidade amostral, o valor foi extrapolado para sacas ha<sup>-1</sup>. O valor de Matiz teve 94% de precisão na identificação de áreas com diferentes potenciais de produtividade, enquanto que IAV teve 95% de precisão. A maior correlação espacial observada foi para matiz e produtividade, com alcance de 450m ( $r^2= 0,99$ ), a menor correlação foi verificada para o IAV e produtividade, com alcance de 359,32m ( $r^2= 0,97$ ). A cor do solo obtida pela ERD, foi eficiente na identificação de áreas com diferentes potenciais de produtividade do cafeeiro.

**Termos de indexação:** Pedometria, Espectroscopia de reflectância difusa, Geoestatística.

### INTRODUÇÃO

A cafeicultura tem passado por diferentes modificações na busca por cultivos mais autossustentáveis (Petek et al., 2006). Pesquisas tem relatado sobre o aumento da demanda por informações que balizem o uso e ocupação do solo de maneira sustentável (Rockstrom et al., 2009). Em áreas com cultivo do café, estas informações são uma oportunidade para que os produtores agreguem valor ao sistema produtivo cafeeiro (Teixeira & Milhomem, 2001). Principalmente, quando estas áreas encontram-se em ambientes de

transição geológica, com grande geovariabilidade dos atributos do solo. Nesses locais, são necessários estudos da compartimentalização da paisagem para que se tenha uma melhor eficiência na produtividade agrícola.

O conhecimento da cor do solo é importante, visto que é um atributo morfológico influenciado pelos fatores e processos de formação do solo (Resende et al., 2014), portanto sensível a variabilidade espacial destes. Por ser considerado uma mistura de partículas minerais e orgânicas que parcialmente absorvem e dispersam a luz incidente, o solo, nos dá a possibilidade de quantificar a sua cor pela espectroscopia de reflectância difusa (ERD), usando os mesmos aparelhos espectrofotométricos comuns de laboratórios, com pequenas adaptações (Fernandes et al., 2004). O comportamento espectral do solo vai depender da sua composição química, física, biológica e mineralógica. Assim, pode-se predizer várias características do solo de maneira rápida, confiável e não invasivas (Shepherd & Walsh, 2002; Dalmolin et al., 2005).

Alguns trabalhos utilizam a cor do solo como método indireto para determinar potencial de erodibilidade dos solo (Dantas et al., 2014), potencial de aplicação de vinhaça, subproduto da produção de açúcar e álcool (Peluco et al, 2013), potencial do solo na emissão de gases do efeito estufa (Bahia et al., 2015; Bahia et al., 2014), quantificação de óxidos de ferro (Camargo et al., 2010), fertilidade do solo (Resende et al, 2014) e zonas de manejo específico para cana-de-açúcar (Marques Jr. et al., 2014).

O objetivo deste trabalho foi verificar o potencial da cor do solo quantificada pela técnica de ERD na identificação de áreas com diferentes potenciais de produtividade da cultura do café.

### MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma área de 35 ha localizada no município de Matão, sudoeste do Estado de São Paulo, Brasil. As coordenadas



geográficas centrais da área são 21° 36' S e 48° 29' W, com altitude variando entre 590-615 metros. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico, A moderado, textura médio-argilosa, originado de Arenito do Grupo Bauru Formação Adamantina e geomorfologicamente está inserida no Planalto Ocidental Paulista. Segundo a classificação de Thornthwaite (1948), o clima local é definido como B1e B'4', Tipo Mesotérmico Úmido, com pequena deficiência hídrica, sendo a evapotranspiração de verão menor que 70% da evapotranspiração anual.

As amostras de solo foram coletadas em 173 pontos, em intervalos regulares de 45 m, na profundidade de 0,0-0,20 m. Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa, utilizou-se um sensor Lambda 950 UV/VIS/NIR da Perkin Elmer. Usou-se aproximadamente 0,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) moída em almofariz de ágata até a obtenção da coloração constante. Os valores de reflectância foram determinados a cada 0,5 nm, na faixa do visível, no intervalo de 380 a 780 nm. Após a obtenção dos espectros de reflectância, foram determinados os valores triestímulos XYZ definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage - CIE (Wyszecki & Stiles, 1982). A partir das coordenadas XYZ, foram deduzidos os valores Munsell do matiz, croma e valor, utilizando o programa Munsell Conversion, versão 6.4, conforme Barrón et al. (2000) e Viscarra Rossel (2011). Utilizando os valores de croma, valor e matiz, foi calculado um índice de avermelhamento (IAV), conforme equação 1 (Barrón et al., 2000).

$$IAV = \frac{(10-H) \times C}{V} \quad [Eq. 1]$$

em que, V é o valor Munsell e C e o valor numérico do croma Munsell, e H é o número que precede o YR no matiz.

A produtividade foi avaliada em sacas por hectare (sacas ha<sup>-1</sup>), calculada pela média de nove plantas que constituía a unidade amostral. Com base nos mapas de variabilidade espacial descrito por Pollo (2013), os dados foram hierarquizados em cinco diferentes grupos de produtividade (sacas ha<sup>-1</sup>): produtividade muito alta (27 a 48 sacas ha<sup>-1</sup>), alta (16 a 25 sacas ha<sup>-1</sup>), média (10 a 15 sacas ha<sup>-1</sup>), baixa (6 a 9 sacas ha<sup>-1</sup>), e muito baixa (0 a 5 sacas ha<sup>-1</sup>).

A dependência espacial entre os atributos da cor do solo e da planta de café foi estimada por meio do variograma cruzado, conforme a equação 2 (Deutsch & Journel, 1998):

$$\hat{\gamma}_{zy}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)][y(x_i) - y(x_i + h)] \quad [Eq. 2]$$

em que  $\hat{\gamma}_{zy}(h)$  é a semivariância cruzada experimental na distância de separação  $h$ ;  $z(x_i)$  é o valor da variável primária no ponto  $i$ ;  $y(x_i)$  é o valor da variável secundária no ponto  $i$  e  $N(h)$  é o número de pares de pontos separados pela distância  $h$ .

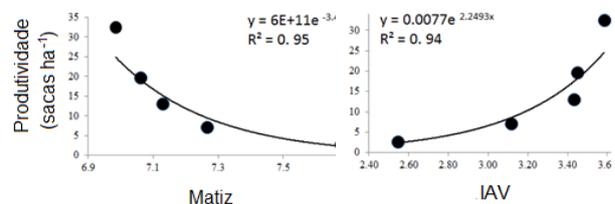
O variograma cruzado é calculado somente para locais em que as duas variáveis (primária e secundária) são amostradas simultaneamente.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na **figura 1**, é apresentado a análise de regressão dos atributos estudados. O IAV, explicou a produtividade com 94% de precisão, e o matiz com 95% ( $P < 0,001$ ). Os locais com maiores produtividades ( $> 35$  sacas ha<sup>-1</sup>) estão próximos do valor de matiz 7,0 e do IAV 3,6. Enquanto que os locais com baixas produtividades ( $< 5$  sacas ha<sup>-1</sup>) estão próximos do matiz 7,7 e IAV 2,4-2,6. Os locais da paisagem com maior potencial de produtividade, estão relacionados com os menores valores de matiz ou com os maiores valores de IAV.

Os pigmentos da cor do solo nos horizontes superficiais se deve a hematita (cor vermelha) e goethita (cor amarela) (Chig et al., 2008). Pesquisas mostram que em ambientes onde o solo apresenta o matiz mais avermelhado, é um indício de obter menor capacidade de armazenamento de água, causando quedas na produtividade das plantas, devido ao menor volume de água disponível (Resende et al., 2014). Quanto maior o valor de matiz, maior o teor de óxidos de ferro, principalmente hematita, que por sua vez está relacionada com a disponibilidade de nutrientes, como o fósforo (P). Portanto, pode estar presente também, nestes solos o mineral goethita que apresenta ser, segundo Bigham (1977); McLaughlin et al. (1981), mais reativo, para retenção de P quando comparado ao hematítico. Retendo o P, ocorre perdas de produtividade, pois este é um elemento essencial para o desenvolvimento do cafeeiro (Malavolta et al., 1974).

Comparando os mapas de cor do solo, dados granulométricos e químicos do solo, Resende et al. (2014) afirmaram que a cor do solo pode ser um indicador, auxiliando no manejo para a cultura da soja.



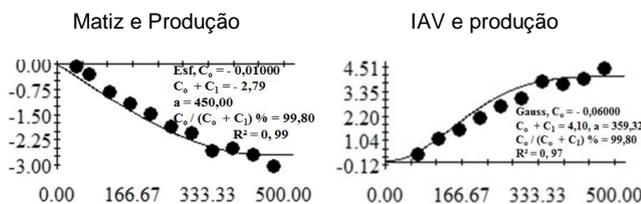
**Figura 1** - Relação entre a produtividade, com o matiz e IAV em 173 amostras de solo com cultivo de café. ( $P < 0,001$ ).

Na **figura 2** são apresentados os variogramas cruzados dos atributos estudados. Quanto ao grau de dependência espacial (GDE), expresso pela relação  $C_0/(C_0+C1)$ , todas as variáveis apresentaram dependência espacial fraca, caracterizada pela relação  $GDE > 75\%$  (Cambardella et al., 1994). Esses valores podem ser variáveis por



área, como por exemplo Sanchez et al. (2005), que encontrou GDE médio para produtividade do cafeeiro em diferentes pedoformas. O modelo esférico, foi ajustado para matiz e produtividade, este modelo é o mais utilizado no estudo da variabilidade de solo e planta, representando mudanças bruscas de variáveis para grandes distâncias. Outros autores, afirmaram que o modelo esférico foi o que melhor ajustou-se em estudo com cultivo de café (Sanchez et al., 2005) e atributos químicos ligados ao solo (Resende et al., 2014). O modelo Gaussiano ajustou-se melhor para IAV e produtividade. Esse modelo indica que a distribuição das classes de variabilidade é mais suave ao longo da área, não ocorrendo portanto, mudanças abruptas (Cambardella et al., 1994). Outros autores também encontraram estes mesmos modelos em Argissolos do Planalto Ocidental Paulista estudando características quali-quantitativas da cana-de-açúcar (Sanchez, 2007) e laranja (Siqueira et al., 2010).

Os valores de  $R^2$  dos variogramas cruzados variaram de 0,99 para matiz e produtividade; 0,97 IAV e produtividade. Foram observados valores negativos para variograma cruzado do matiz e produção, indicando que ocorre a diminuição da produtividade em função do matiz no espaço. Para o IAV e produtividade foi verificado o inverso. Os variogramas cruzados apresentaram diferentes alcances de dependência espacial. O alcance máximo foi 450 m (matiz e produção) e de 359,32 m (IAV e produção). Sanchez et al. (2007) também encontraram alcance da produtividade da cana-de-açúcar variando de 129 m a 357 m em Argissolo originado de Arenito. Siqueira et al. (2010) estudando relação de causa e efeito entre atributos físicos e químicos do solo com produtividade e qualidade da laranja em Argissolo do Planalto Ocidental também encontrou alcance variando entre 90 m e 480 m. A similaridade destes valores de alcances são úteis para o planejamento amostral de futuros estudos em áreas de Argissolo do Planalto Ocidental Paulista.



**Figura 2** - Variogramas cruzados dos atributos da cor: matiz e IAV e atributo produtivo do cafeeiro, avaliadas na camada de 0-20 cm (ou horizonte A) do solo de 173 amostras em cultivo com café. Esf.: modelo esférico; Gauss: modelo gaussiano;  $C_0$ : efeito pepita;  $C_0+C_1$ : patamar;  $a$ : alcance;  $C_0/(C_0+C_1)$ : Grau de dependência espacial;  $R^2$ : coeficiente de determinação.

Esses atributos foram selecionados com base na sua relevância e praticidade na determinação. Com

isso, as equações e gráficos obtidos confirmam que a estimação da produtividade do café é aplicável, principalmente pela praticidade de mensuração via método aplicado pelo matiz e IAV. Isso implica o manejo correto e prático, na redução do tempo de coleta de dados e, por conseguinte, redução dos gastos com análises e levantamentos finais de toda a área.

## CONCLUSÕES

A cor do solo obtida pela espectroscopia de reflectância difusa foi eficiente na identificação de áreas com diferentes potenciais para produção de café. Matiz e IAV tiveram 95 e 94% de precisão na identificação de áreas com diferentes potenciais de produtividade do café em Argissolo de Arenito. Os valores de Matiz podem ser utilizados como covariáveis para compreender a estimativa da variabilidade espacial da produção até 450 m, e o IAV até 359,32 m.

## REFERÊNCIAS

- BAHIA, A. S. R. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PANOSSO, A. R. et al. Field-scale spatial correlation between contents of iron oxides and CO<sub>2</sub> emission in an Oxisol cultivated with sugarcane. *Scientia Agricola*, 72:157-166, 2015.
- BAHIA, A. S. R.; MARQUES JÚNIOR, J. PANOSSO, A. R. et al. Iron oxides as proxies for characterizing anisotropy in soil CO<sub>2</sub> emission in sugarcane areas under green harvest. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 192:152-162, 2014.
- BARRÓN, V.; MELLO, J. W. V. & TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V. V. H. & SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). Tópicos de ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 2:139-162.
- BIGHAM, J. M. Iron mineralogy of red-yellow hued ultisols and oxisols as determined by Mössbauer spectroscopy X-ray diffractometry and supplemental laboratory techniques. 1977. 1965 p. Dissertação (Mestrado). Raleigh, North Carolina State University, Mimeo.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D. & McCRACKEN, R.W. Soil genesis and classification. 4.ed. Ames: Iowa State University, 1997. 527p.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J. PEREIRA, G. T. et al. Spatial correlation between the composition of the clay fraction and contents of available phosphorus of an Oxisol at hillslope scale. *Catena*, 100:100-106, 2013.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M. et al.. Field scale variability of soil properties. In *Central Iowa soils*. Soil Science Society of America Journal, 58:1501-1511, 1994.



- CHIG, L. A.; COUTO, E. G.; NOVAES FILHO, J. P. et al. Distribuição espacial da granulometria, cor e carbono orgânico do solo ao longo de um transecto em microbacias na Amazônia meridional. *Acta Amazonica*, 38:715-722, 2008.
- COHEN, J. Y.; POUGET, P.; WOODMAN, G. F. et al. Difficulty of visual search modulates neuronal interactions and response. *Journal of neurophysiology*, 98:2580-2587, 2007.
- DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E. et al. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciência Rural*, Santa Maria, 35:481-489, 2005.
- DANTAS, J. S.; MARTINS FILHO, M.V.; MARQUES JÚNIOR, J. et al. Coeficiente de erodibilidade em sulcos e entressulcos de Argissolos coesos estimado pela cor do solo. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 49:700-707, 2014.
- DEUTSCH, C. V. & JOURNEL, A. G. *GSLIB. Geostatistical Software Library and User's Guide*. 2.ed. Oxford, New York: Oxford University Press, 1998, 366p.
- FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. et al. Quantificação de óxidos de ferro de Latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:245-257, 2004.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H. P.; MELLO, F. A. F. et al. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In: *Nutrição mineral de plantas cultivadas*. ESALQ, USP. Piracicaba, 1974. p. 203-205
- MARQUES Jr, J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A. et al. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. *Geoderma*, 219-220:63-71, 2014.
- McBRATNEY, A. B. & WEBSTER, R. How many observations are needed for regional estimation of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 135:177-183, 1983.
- McLAUGHLIN, J. R.; RYDEN, J. C. & SYERS, J. K. Sorption of inorganic phosphate by iron and aluminum-containing components. *Journal of Soil Science*, 32:365-377, 1981.
- PELUCO, R. G.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S. et al. Suscetibilidade magnética do solo e estimação da capacidade de suporte à aplicação de vinhaça. *Revista agropecuária brasileira*, 48:661-672, 2013.
- PETEK, M. R.; SERA, T.; SERA, G. H. et al. Seleção de progênies de *Coffea arabica* com resistência simultânea à mancha aureolada e à ferrugem alaranjada. *Bragantia*, 65:65-73, 2006.
- POLLO, G. Z. Suscetibilidade magnética, atributos do solo e da planta na discriminação de áreas de manejo específico na cultura do café. 2013. 58 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.
- QUINTON, J. N.; GOVERS, G.; VAN OOST, K. et al. The impact of agricultural soil erosion on biogeochemical cycling. *Nature Geoscience*, 3:311-314, 2010.
- RESENDE, J. M. A.; MARQUES JR, J.; MARTINS FILHO, M. V. et al. Variabilidade espacial de atributos de solos coesos do leste Maranhense, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38:1077-1090, 2014.
- ROCKSTROM, J. A.; STEFFEN, W.; NOONE, K. et al. A safe operating space for humanity. *Nature*, 461:472-475, 2009.
- SANCHEZ, R. B. Agricultura de precisão em argissolos com variações nas formas do relevo sob o cultivo de cana-de-açúcar. 2007. 112p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- SANCHEZ, R. B.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. et al. Variabilidade espacial de propriedades de Latossolo e da produção de café em diferentes superfícies geomórficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9:489-495, 2005.
- SHEPHERD, K. D. & WALSH, M. G. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Science Society of America*, 66:988-998, 2002.
- SIQUEIRA, D.S.; MARQUES JÚNIOR, J. & PEREIRA, G.T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. *Geoderma*, 155:55-66, 2010.
- TEIXEIRA, S. M. & MILHOMEM, A. V. Tecnologias de produção de café com qualidade, c.02 A competitividade e custos da cafeicultura brasileira, Viçosa, Suprema gráfica e editora LTDA, p. 25-64, 2001.
- THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, 38:55-94, 1948.
- VISCARRA ROSSEL, R. A. Fine-resolution multiscale mapping of clay minerals in Australian soils measured with near infrared spectra. *Journal Geophysical Research*, 116:1-15, 2011.
- WILDING, L.P. & DREES, L.R. Spatial variability and pedology. In: *Pedogenesis and soil taxonomy: I. Concepts and interactions*. New York: Elsevier, 1983. p.83-116.
- WYSZECKI, G. & STILES, W. S. *Color science: concepts and methods, quantitative data and formulae* 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1982. 976 p.