

Correlação de suscetibilidade magnética com atributos do solo em Terra Preta Arqueológica cultivada no Amazonas

Sheury Celante Marques^(1*); Wildson Benedito Mendes Brito⁽²⁾; Lucas Pereira de Oliveira⁽³⁾; Adriana Miguel Fernando⁽³⁾; Brendo Washington Lopes Temo⁽⁴⁾; William da Silva Maciel⁽⁵⁾ & Thiago Abraão Reis de França⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, UNESP - Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, SP, Brasil, 15385-000 (*apresentador, marquesheury@gmail.com).

⁽²⁾ Departamento de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM, Brasil, 69077-470.

⁽³⁾ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Programa de Pós-Graduação em Agricultura no Trópico Úmido, Manaus, AM, Brasil, 69067-375.

⁽⁴⁾ Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA), Curso de Engenharia Ambiental, Humaitá, AM, Brasil, 69800-000.

⁽⁵⁾ Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA), Curso de Agronomia, Humaitá, AM, Brasil, 69800-000.

RESUMO: A agricultura atual busca cada vez mais metodologias que auxiliem na determinação de atributos do solo e mapeamento da variabilidade destes atributos com maiores níveis de detalhe. Neste contexto, surge a Suscetibilidade Magnética (SM) a qual, aplicada como uma Função de Pedotransferência (FPT), torna-se uma poderosa ferramenta capaz de estimar propriedades do solo de maneira simples, rápida, barata e com menores impactos ambientais. Assim, objetiva-se nesta pesquisa avaliar a SM como FPT para estimar atributos do solo em uma área de Terra Preta Arqueológica (TPA) no sul do Amazonas, utilizando o método da balança analítica. A área de TPA encontra-se no município de Apuí – AM, sob uso com cacau. Na área foi estabelecida uma malha amostral de 48 m x 88 m com espaçamentos de 6 m x 8 m. Os solos foram amostrados nos pontos de cruzamento da malha, na camada de 0,00 - 0,20 m, perfazendo um total de 88 pontos amostrais. Foram feitas análises físicas e químicas tradicionais para obtenção dos valores dos atributos do solo e da SM. Após esta etapa, foi aplicada a estatística descritiva, correlação de Pearson e análises de regressão linear simples para modelagem das FPT.

Palavras-chave: Função de pedotransferência, metodologia customizada, impactos ambientais.

INTRODUÇÃO

O detalhamento dos estudos relacionados ao solo é subsidiado por técnicas que visem aquisições de informações que deem apoio à sustentabilidade das atividades agrícolas. Para aquisição destas informações, em geral, necessitam-se de grande volume de amostras, alto custo, tempo necessário para processar e adquirir informações e geração de resíduos provocados pela

utilização de reagentes, causando grande desconforto econômico e ambiental (McBratney et al., 2003).

A pedometria surge como uma alternativa para solução desses entraves por meio de Funções de Pedotransferência (FPT), que são funções preditivas dos atributos dos solos a partir de outras facilmente medidas e rotineiramente obtidas a custos mais baixos, minimizando o tempo empregado em coletas e análises (McBratney et al., 2003; Ramos, 2015).

Dentre as FPT, o uso da Suscetibilidade Magnética (SM) torna-se uma ferramenta para avaliar determinados atributos do solo de maneira simples, sem impacto ambiental e custo relativamente baixo, já que é um atributo mineralógico de fácil aquisição, além de ser um método de fácil aplicação (Ramos, 2015).

A maioria dos estudos que envolvem a SM utilizam sensores próprios para fins específicos, porém, autores como Cano et al. (2008) e Siqueira et al. (2010), validaram o uso de uma balança analítica modificada como eficiente na leitura de suscetibilidade magnética massal (χ_p) para a maioria dos minerais com comportamento magnético. A vantagem deste método alternativo é a flexibilidade e a simplicidade, permitindo sua utilização por uma ampla faixa de pesquisadores.

Mesmo com vários estudos produzidos para a utilização da SM na predição de atributos do solo, o desenvolvimento de FPT's é uma tarefa difícil para aplicações em locais diferentes dos quais foram desenvolvidas. Não se recomenda a utilização de FPT para além da região geomórfica, tipo de solo ou área de manejo específico, a partir da qual foi desenvolvida (McBratney et al., 2002).

Deste modo, objetivou-se com este trabalho verificar a eficiência das funções de pedotransferência na estimativa dos atributos do

solo a partir da suscetibilidade magnética, utilizando o método da balança de precisão, em área de terra preta arqueológica cultivada com cacau no Sul do Amazonas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Amostragem

Para o estudo foi localizada uma área de TPA, situada no município de Apuí-AM, sob as coordenadas geográficas de 7°12'05" S e 59°39'35" W. O solo da área foi classificado como Argissolo Amarelo Eutrófico segundo Embrapa (2013) e como um Typic Hapludalf (Soil Survey Staff, 2014).

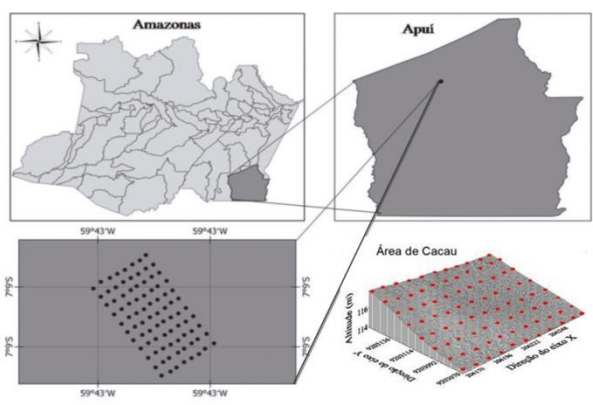


Figura 1: Mapa de localização, malha amostral e relevo da área de estudo em Apuí-AM, Brasil.

Metodologia de Campo

Na área de TPA, foi estabelecido uma malha amostral com dimensão de 88 x 48 m com espaçamentos de 6 x 8 m entre pontos. O solo foi amostrado nos pontos de interseção das malhas, na profundidade de 0,00-0,20 m, perfazendo um total de 88 pontos amostrais.

Análises Físicas

Em laboratório, foi realizada análise granulométrica com solução de NaOH a 1 mol L⁻¹ como dispersante químico. A fração argila foi separada pelo método da pipeta, a areia foi obtida por tamisação e o silte determinado por diferença entre a fração argila e areia (Embrapa, 2011).

Para as determinações da macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo e umidade volumétrica, foram coletadas amostras indeformadas utilizando-se anéis volumétricos com volume médio de 98,0 cm³ (Embrapa, 2011).. A resistência do solo à penetração foi medida em laboratório nas mesmas amostras coletadas com os anéis volumétricos, mas utilizando-se de um penetrômetro eletrônico modelo MA-933.

Em cada ponto amostral, foram coletadas também amostras com estrutura preservada na forma de "torrão" para determinação da estabilidade dos agregados do solo conforme metodologia

descrita por Kemper & Chepil (1965). Os resultados foram expressos em: diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG).

Análises Químicas

Foram determinados, em laboratório, o pH potenciométricamente, a acidez potencial (H+Al) e carbono orgânico (CO) por volumetria, cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) por compleximetria, e fósforo (P) e potássio (K⁺) por espectrofotometria (Embrapa, 2011).

Suscetibilidade Magnética (χ_p)

A suscetibilidade magnética massal (χ_p) foi determinada na balança analítica, utilizando 10 gramas da fração terra fina seca ao ar (TFSA). A força-peso lida na balança é expressa em unidade cgs. Então, foi utilizado a curva padrão apresentada por Siqueira et al. (2010b), já convertida para unidade do SI (m³ kg⁻¹), construída utilizando-se a SM tabelada de reagentes puros (Lide, 2005).

Análises Estatísticas

Os dados foram avaliados primeiramente pela análise exploratória da estatística descritiva, calculando-se a média, coeficiente de variação e hipótese de normalidade dos dados (teste Kolmogorov-Smirnov a 1%).

Para modelagem das FPT para estimar os atributos do solo em função da χ_p , foram realizadas análises de regressão linear e correlação de Pearson no software SPSS 21 (IBM SPSS 21, 2012), utilizando 70 pontos das malhas amostrais representativos da área. Os 18 pontos amostrais restantes foram utilizados na validação externa dos dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística Descritiva

A Tabela 1 apresenta os valores descritivos dos atributos físicos analisados. Percebe-se que, em relação à textura, a fração silte foi superior à da fração areia e argila, caracterizando-se uma textura siltosa para esta TPA. A resistência do solo à penetração (RP) foi classificada como baixa, com valor de 1,0 MPa, conforme classifica Andrade et al. (2013). A densidade do solo (Ds) apresentou valor de 0,9 mg m⁻³, corroborando com o valor de RP. Esses baixos valores de Ds corroboram com os valores de RP e justificam os altos valores de macro, micro e porosidade total verificados, e ocorrem devido à incorporação de resíduos culturais, alto teor de matéria orgânica e intensa perturbação do solo (Brito, 2018).

O valor de acidez ativa foi de 5,9, indicando que essas áreas possuem pH numa faixa propícia para o bom desenvolvimento das culturas. No mesmo sentido, o valor de acidez trocável e potencial foram baixos, favorecendo a hipótese de que estas terras detêm as melhores características

físicas e químicas para a agricultura. A suscetibilidade magnética massal (χ_p) apresentou valor de $5,83 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

Quanto ao coeficiente de variação dos dados, de acordo com classificação de Warrick e Nielsen (1980), considerando-se os três cultivos, as variáveis silte, densidade, microporosidade, porosidade total, umidade volumétrica, DMG, DMP, pH e CO apresentaram baixa variabilidade, enquanto que todas as demais variáveis (χ_p , areia, argila, RP, macro, H+Al, Al^{3+} , P, K, Ca^{2+} e Mg^{2+}) apresentaram moderada variabilidade.

Tabela 1: Estatística descritiva, coeficientes de Pearson e funções de pedotransferência das variáveis analisadas em ambiente de TPA cultivada com cacau em Apuí, AM.

Propriedades (0,00-0,2m)	EST. DESCRITIVA			CORRELAÇÃO		
	Média	¹ CV%	² K-S	r	A	B
χ_p ($10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)	5,83	17,7	**	-	-	-
Areia (g kg^{-1})	201,4	16,5	**	0,20**	6,8	159,2
Silte (g kg^{-1})	553,3	2,9	**	0,16 ^{ns}	2,9	534,9
Argila (g kg^{-1})	243,9	13,3	**	-0,18 ^{ns}	-7,2	288,5
RP (MPa)	1,0	19,8	**	-0,32**	-0,07	1,5
Ds (kg dm^{-3})	0,9	6,8	**	-0,33**	-0,02	1,0
Macro ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,20	17,3	**	0,29**	1,0	14,3
Micro ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,46	5,5	**	-0,03 ^{ns}	-0,1	47,6
PT ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,67	3,6	**	0,29**	0,9	61,9
Um. Vol. ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,46	5,5	**	-0,05 ^{ns}	-0,2	47,5
DMG (mm)	2,6	8,0	**	0,24*	0,05	2,3
DMP (mm)	2,8	5,5	**	0,19 ^{ns}	0,03	2,7
pH	5,9	9,6	**	-0,27*	-0,2	7,1
H+Al ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	9,6	38,7	**	0,30**	1,2	1,5
Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,1	57,0	NS	0,05 ^{ns}	0,003	0,1
P^+ ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	116,0	25,6	**	-0,13 ^{ns}	-6,2	161,1
K^+ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,022	32,8	**	-0,17 ^{ns}	-0,003	0,04
Ca^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	13,6	20,8	**	-0,21*	-0,7	18,4
Mg^{2+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	2,6	26,7	**	0,23*	0,1	1,6
C.O. (g kg^{-1})	42,0	11,9	**	0,20 ^{ns}	1,1	36,3

¹CV% = coeficiente de variação; ²K-S: teste de normalidade; r: correlação de Pearson entre χ_p e atributos; χ_p : suscetibilidade magnética massal (método da balança analítica); RP: resistência à penetração; Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; Um. Vol.: umidade volumétrica; DMG: diâmetro médio geométrico; DMP: diâmetro médio ponderado; H+Al: acidez potencial; Al^{3+} : alumínio trocável; C.O: carbono orgânico; * significativo a 95%; ** significativo a 99% de confiança; NS: não significativo.

Funções de Pedotransferência

Na avaliação dos valores de correlação de Pearson entre χ_p com atributos do solo (Tabela 1), verifica-se que apenas as variáveis areia, RP, Ds, macro, PT, DMG, pH, H+Al, Ca^{2+} e Mg^{2+} apresentaram alguma forma de correlação.

A área de cacau apresentou grande parte

dos atributos correlacionando-se à χ_p . Uma das possíveis causas deste fato está ligada a formação do sítio da TPA em si. Especificamente, pode ser dita como resultado do intenso uso de fogo combinado com os dejetos domésticos, ou seja, durante o aquecimento da lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$), de 200 °C a 300 °C advinda da ferrihidrita, após o aquecimento termal (fogo) que liberam ao solo óxidos de ferro magnéticos, seja pelos fragmentos cerâmicos ou pelas recusas domésticas, produzindo diretamente a maghemita (Barrón & Torrent, 2013).

Essas correlações encontradas mostram que o estudo da χ_p com os atributos do solo, dentro de TPAs, devem ser específicos para cada manejo, porque o uso dos modelos de predição requer atributos do solo particulares para cada região ou uso, principalmente os físicos (como a textura), a qual vai influenciar na densidade, resistência do solo à penetração e na porosidade do solo, carreando todos os resultados da correlação consigo.

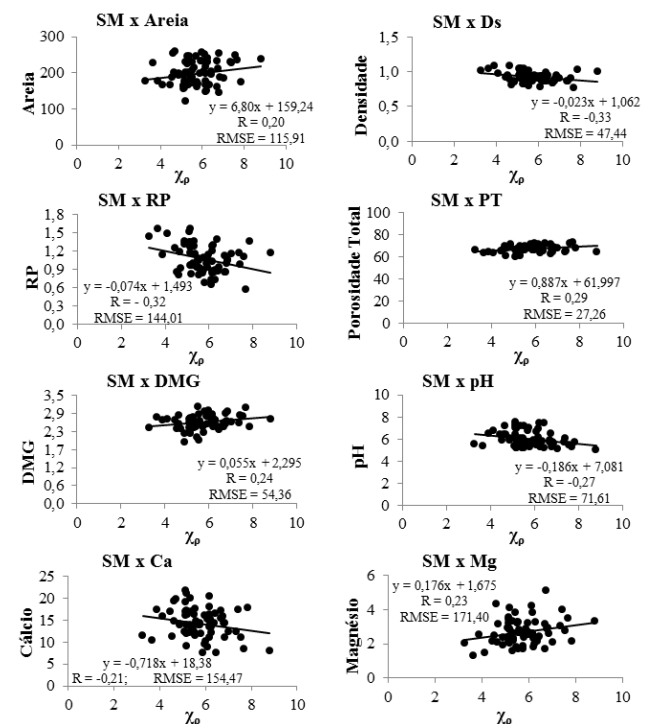


Figura 2: Modelos de regressão para os atributos do solo em relação à χ_p em TPA cultivada com cacau na região de Apuí-AM.

Focando nas correlações que mais se destacaram entre os atributos do solo (Figura 2), observa-se aquelas entre a χ_p com a densidade aparente ($R = -0,33$; $P < 0,01$), resistência do solo à penetração ($R = -0,32$; $P < 0,01$), acidez potencial ($R = 0,30$; $P < 0,01$), porosidade total ($R = 0,29$; $P < 0,01$), macroporosidade ($R = 0,29$; $P < 0,01$) e areia ($R = 0,20$; $P < 0,01$), entre outras menos significativas ($P < 0,05$). Peluco et al. (2013) encontra correlações bem semelhantes da χ_p com atributos físicos e químicos do solo, mencionando-a

como uma alternativa de medida indireta dos atributos com expressão magnética. Logo, nossas estimativas podem ser ditas como “moderadas”, ou melhor, “ainda em calibração” no procedimento de predição de atributos na TPA.

No entanto, isto não significa dizer que a χ_p é inutilizável em áreas de TPAs, pois conforme dito na metodologia deste estudo, não há uma curva padrão própria para a calibração das funções preditoras confeccionadas para as TPAs, sendo por esse motivo utilizada uma curva padrão ajustada para Argissolos brasileiros com alto grau de correlação com as medidas realizadas no MS2 Bartington Instruments.

Na verdade, isso mostra que, se uma curva padrão imprópria apresentou predições moderadas, talvez uma curva de calibração adequada à TPA, possa apresentar predições ótimas, apoiando a concepção de vista de pesquisadores como Hartemink (2007), o qual acredita que o cenário a vir em diante na ciência do solo é se movendo no caminho do uso das funções de pedotransferência.

CONCLUSÕES

A suscetibilidade magnética apresentou correlação significativa com a areia, resistência do solo à penetração, densidade, macroporosidade, porosidade total, diâmetro médio geométrico, pH, acidez potencial, cálcio e magnésio, indicando potencial de uso na predição de atributos neste ambiente de TPA.

As funções de pedotransferência variaram na predição dos atributos dentro do mesmo sítio de TPA, garantindo estimativas moderadas para tais atributos.

A suscetibilidade magnética pode ser utilizada na predição de atributos físicos e químicos de TPA's, porém, devem haver maiores investigações a fim de padronizar uma curva padrão própria de TPA's para maior precisão e exatidão nas predições.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. & GODOY, G. S. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, n.9, p.932–937, 2013.
- BARRÓN, V. & TORRENT, J. Iron, manganese and aluminium oxides and oxyhydroxides. In: NIETO, F; LIVI, K.J.T. **Minerals at the Nanoscale**. Twickenham: EMU Notes in Mineralogy, 2013. cap.9, p.297–336.
- BRITO, W. B. M. et al. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. **Soil & Tillage Research** 182 (2018), 103–111.
- CANO, M. E. et al. Understanding the magnetic susceptibility measurements by using an analytical scale. **European Journal Of Physics**, v. 29, p.345-354, 2008.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2011. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, pp. 212p.
- EMPRESA Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solo**. 3ª ed. Brasília: DC; 2013.
- HARTEMINK, A. E. **El futuro Del La Ciencia Del suelo**. Wageningen: Intenational Union of Soil Science, 2007. 165p.
- IBM SPSS Statistics 21. 2012. Software. Disponível em: <<http://www01.ibm.com/software/analytics/spss/products/statistics/>>
- LIDE, D. R. Magnetic susceptibility of the elements and inorganic compounds. In: HAYNES, W. M. (Ed.). **CRC handbook of chemistry and physics**. 86. ed. Boca Raton: CRC, 2005. p. 130-135.
- KEMPER, W.D., CHEPIL, W.S., 1965. Aggregate stability and size distribution. In: In: Black, C.A. (Ed.), (Org) **Methods of Soil Analysis** 39. ASA, Madison, pp. 499–510 (Agronomy, 9).
- McBRATNEY, A. B. et al. From pedotranfer functions to soil inference systems. **Geoderma**, Amsterdam, v.109, p.41-73, 2002.
- McBRATNEY, A. G. et al. On digital soil mapping. **Geoderma**, Amsterdam, v. 117, n. 1-2, p. 3–52, 2003.
- PELUCO, R. G. et al. Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in two sugarcane harvesting management systems. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.6, p.1134-1143, 2013.
- RAMOS, P. V. **Suscetibilidade magnética na estimativa de atributos do solo e identificação de compartimentos da paisagem em Latossolos de basalto no planalto do RS**. / Priscila Vogelei Ramos. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 82p, 2015.
- SIQUEIRA, D. S. **Suscetibilidade magnética para a estimativa de atributos do solo e mapeamento de áreas sob cultivo de cana-de-açúcar**. / Diego Silva Siqueira. -- Jaboticabal, 2010. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010.
- SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12th ed. Washington, DC: United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service; 2014.
- WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Applications of soil physics**. New York, Academic Press, 1980.