

SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DA TERRA PRETA ARQUEOLÓGICA AMAZÔNICA
SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DE LA TIERRA NEGRA ARQUEOLÓGICA
AMAZÓNICA

MAGNETIC SUSCEPTIBILITY OF THE AMAZON ARCHAEOLOGICAL BLACK EARTH

Ivanildo Amorim de Oliveira*

mcesarsolos@gmail.com

Milton Cesar Costa Campos**

Jose Marques Junior**

Ludmila Freitas*

Renato Eleoterio de Aquino****

Joalison Brito Silva**

Flávio Pereira de Oliveira**

Antonio Francisco de Mendonça Júnior*****

*Instituto Federal de Rondônia, Vilhena/RO - Brasil

**Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa/PB - Brasil

***Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho, Jaboticabal/SP - Brasil

****Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR - Brasil

***** Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife/PE - Brasil

Resumo

As Terras Pretas Arqueológicas (TPA) ou Terra Preta de Índio (TPI) são horizontes localizados na superfície de vários solos na região, como Argilssolos, Neossolos, Latossolos, Cambissolos, Plintossolos e Espodossolos. Estes solos apresentam alta fertilidade natural sendo encontrados em toda a região amazônica. Neste sentido, este trabalho fornece informações sobre a formação da Terra Preta Arqueológica e sua relação com a expressão magnética proveniente de minerais litogenéticos, pedogenéticos e influência antrópica. Os resultados da presença de minerais ferrimagnéticos nos solos de TPA pode ser utilizada para compreender o processo de formação destes solos, ou utilizar a expressão magnética como indicador de alterações ambientais para cultivo nestes solos. Diante do exposto, a suscetibilidade magnética (SM) que reflete parte da composição mineralógica do solo é uma importante e vantajosa técnica para a detecção da possível presença de minerais, uma vez que a SM é utilizada em ciência do solo para fazer estimativas de atributos dos solos com maior facilidade e baixo custo. Além disso, a SM pode auxiliar no entendimento dos processos que interferem na resposta das plantas, visto que estes solos são altamente diferentes de solos adjacentes formados em condições naturais.

PALAVRAS CHAVE: Terra Preta de Índio; assinatura magnética; Amazônia

Resumen

Las Tierras Negras Arqueológicas (TPA) o Tierras Indígenas Negras (TPI) son horizontes ubicados en la superficie de varios suelos de la región, como Argiloles, Neosoles, Oxisoles, Cambisoles, Plintosoles y Espodosoles. Estos suelos tienen una alta fertilidad natural que se encuentran en toda la región amazónica. En este sentido, este trabajo aporta información sobre la formación de la Preta Preta Arqueológica y su relación con la expresión magnética a partir de minerales litogénicos, la pedogenética y la influencia antropogénica. Los resultados de la presencia de minerales ferrimagnéticos en suelos de TPA se pueden utilizar para comprender el proceso de formación de estos suelos, o utilizar la expresión magnética como indicador de cambios ambientales para el cultivo en estos suelos. Dado lo anterior, la susceptibilidad magnética (SM) que refleja parte de la composición mineralógica del suelo es una técnica importante y ventajosa para detectar la posible presencia de minerales, ya que la SM se utiliza en la ciencia del suelo para estimar los atributos del suelo. suelos con mayor facilidad y bajo costo. Además, el SM puede ayudar a comprender los procesos que interfieren con la respuesta de la planta, ya que estos suelos son muy diferentes de los suelos adyacentes formados en condiciones naturales.

PALABRAS CLAVE: Tierra negra de indio; Firma magnética; Amazonas.

Abstract

As Archaeological dark earth (ADE) or Indian dark earth (IDE) are horizons located on the surface of several solos in the region, such as Argilssolos, Neossolos, Latossolos, Cambissolos, Plintossolos and Espodossolos. These alone show high natural fertility, being found throughout the Amazon region. In this sense, this work provides information on the formation of ADE and its relationship with magnetic expression from lithogenic, pedogenetic and anthropic influence minerals. The results of the presence of ferrimagnetic minerals alone of ADE can be used to understand or process of formation of these alone, or use magnetic expression as an indicator of environmental alterations for cultivation of nests alone. During the exposition, a magnetic susceptibility (MS) that reflects part of the mineralogical composition of only one important and advantageous technique for detecting the possible presence of minerals, one time that MS is used only initially to make estimates of two attributes. Alone with greater ease and lower custody. Furthermore, MS can help by not understanding two processes that interfere with plant responses, since these solos are highly different from adjoining solos formed in natural conditions.

KEYWORDS: Indian dark earth; Magnetic signature; Amazon.

1. Introdução

A Amazônia apresenta a ocorrência de solos antrópicos com características peculiares, conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta Arqueológica (TPA), e evidencia importante

registro da ocupação humana e do uso do solo da região (LIMA, 2001; LIMA et al., 2002). Essas TPAs são horizontes localizados na superfície de vários solos na região, como Argissolos, Neossolos, Latossolos, Cambissolos, Plintossolos e Espodosolos (LIMA, 2001, KERN et al., 2003), os quais apresentam alta fertilidade natural (LEHMANN et al., 2003, GLASER, 2007), normalmente associados a corpos d'água ou terrenos com maiores cotas de altitude. A característica marcante é a coloração escura e presença de fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados na matriz dos horizontes superficiais, possivelmente deixados por tribos indígenas que habitavam estes locais (KAMPF; KERN, 2005).

Algumas pesquisas vêm tentando elucidar a formação das TPAs e atualmente, há dois modelos que procuram explicar o processo de formação destas: i) a hipótese antrópica, onde evidências pedológicas e arqueológicas estudadas por Kern e Kampf (1989) sugerem que estas teriam sido formadas não intencionalmente pelo homem pré-colombiano, sendo sua formação resultado do efeito colateral ao estilo de vida adotado por esta sociedade; e ii) hipótese antropogênica, estes solos surgiram nos antigos campos de lavoura dos povos indígenas pré-colombianos, como resultado de uma intervenção planejada. Além disso, acredita-se que a densidade populacional e as atividades concentradas, foram os fatores primários na formação das TPAs (NEVES et al., 2003). Dentre as formas de uso e manejo do solo, pode-se destacar a utilização do fogo, o qual foi um componente crucial na formação das TPAs por contribuir na forma de carvão e cinza.

Apesar de estudos de caracterização (CAMPOS et al., 2013; AQUINO et al., 2016), e variabilidade espacial de atributos das TPAs (AQUINO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015a, CAMPOS et al., 2016), tais pesquisadores não se atentaram com o efeito desta na natureza. Os cientistas só passaram a ter interesse cerca de uma década, quando a crescente preocupação com o aquecimento global, levou-os a questionar sobre como estes solos podem armazenar grandes quantidades de carbono no solo, em decorrência aos elevados teores de matéria orgânica (MO) encontrado nestes solos com a presença de TPA.

Dentro deste contexto, é possível destacar que a composição física, química e mineralógica das TPAs podem ter sofrido influência antrópica. Diante do exposto, a suscetibilidade magnética (SM) que reflete parte da composição mineralógica do solo (SOUZA JÚNIOR et al., 2010) e corresponde a razão entre a magnetização e o campo magnético aplicado, ganha importância como técnica vantajosa para a detecção da possível presença de minerais no solo. Além disso, pode auxiliar no entendimento de atributos agrícolas e ambientais de TPAs, visto que estes solos são altamente diferentes de solos adjacentes formados em condições naturais.

As TPAs apresentam alta variabilidade dos atributos (AQUINO et al., 2015), sendo explicado pela presença de fragmentos cerâmicos e material lítico (CAMPOS et al., 2011), uso intenso do fogo associado à deposição de material orgânico que forma partículas organominerais estáveis semelhantes à fração areia (TEIXEIRA et al., 2009). Neste sentido, o uso da SM é importante para a compreensão dos atributos destes solos nas caracterização destes ambientes. Assim, esta técnica torna-se viável por ser barata, segura, simples e rápida no estudo de atributos dos solos, como a presença e o teor de óxidos de ferro ferrimagnéticos nos solos e sedimentos, além de elucidar o grau de evolução destes nos processos pedogenéticos (COSTA et al., 1999; DEARING, 1999; LU et al., 2008).

A SM também tem sido utilizada para auxiliar no entendimento das rotas de transformação de minerais de óxidos de ferro nas regiões temperada e tropical (TORRENT; LIU; BARRÓN, 2010; CAMARGO et al., 2014; SIQUEIRA et al., 2015; CAMARGO et al., 2016). Pelo exposto, a SM pode ajudar na compreensão de diferentes fontes de variação da mineralogia dos solos temperados e tropicais como: influência geológica (FONTES et al., 2000; DUNSHENG et al., 2007), litogenética (BARRÓN; TORRENT, 2013; CAMARGO et al., 2014) antropogenética por meio do fogo (MULLINS, 1977; SCHWERTMANN; CORNELL, 1991; SPOKAS et al., 2015) e a contribuição do biomagnetismo das plantas (HOUYUAN; DONGSHENG, 2001). Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo utilizar a SM como indicadora agrícola e ambiental e identificar a influência antrópica na formação de diferentes ambientes pedogenéticos de áreas com TPAs, na região Sul do Amazonas, Brasil.

2. Revisão de Literatura

2.1 Formação da Terra Preta Arqueológica – influência antrópica

Os solos amazônicos, sob o ponto de vista agrônomico, são ácidos, saturados por alumínio tóxico e deficientes na maioria dos nutrientes minerais, fato que, segundo Meggers (1996), teriam sido uma limitação natural (determinismo ecológico) imposta ao desenvolvimento humano na Amazônia. As condições ambientais na Amazônia são muito diversificadas: a ampla diversidade das condições climáticas é acompanhada por variações na vegetação, nos tipos e nas propriedades dos solos (SOMBROEK, 2000).

Evidências arqueológicas indicam que atividades humanas antigas nos habitats amazônicos transformaram significativamente as paisagens na vizinhança dos seus assentamentos, notadamente no período pré-histórico tardio. Em muitas regiões, sociedades indígenas formaram extensos depósitos de resíduos, para muitos simplesmente rejeitos, que alteraram as propriedades do solo (LEHMANN et al., 2003), incrementando ou diminuindo suas aptidões. Dessa forma, solos com horizonte superficial antrópico, conhecidos como Terra Preta de Índio (TPI) ou Terra Preta Arqueológica (TPA) (KAMPF;

KERN, 2005), representam um dos mais marcantes registros da antiga ocupação humana na região amazônica, e encontram-se distribuídos aleatoriamente, comumente localizados ao longo de rios e interflúvios, ocupando várzeas, elevações marginais adjacentes e terra firme.

Solos com TPA consistem em pequenas manchas escuras que podem variar de um hectare ou menos até várias centenas de hectares. Apresentam visível distribuição de fragmentos de cerâmica e artefatos líticos, cujas concentrações condicionam características físicas e hídricas específicas (PETERSEN; NEVES; HECKENBERGER, 2001), os quais são considerados peças-chave na busca de soluções para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola na Amazônia. Estes solos via de regra apresentam altas concentrações de nutrientes, com elevados teores de fósforo, cálcio e alguns micronutrientes, como o manganês e o zinco, além de pH mais elevado, baixa saturação por Al e Fe, elevados níveis de capacidade de troca catiônica (CTC) (KERN; KAMPF, 1989).

As TPAs apresentam altos teores de matéria orgânica, superiores em até três vezes em relação aos solos adjacentes inférteis, provavelmente pelo manejo de restos orgânicos de origem vegetal (folhas e talos de palmeiras diversas, cascas de mandioca e sementes) e de origem animal (ossos, sangue, gordura, fezes, carapaças de quelônios e conchas), e do fogo pelas populações pré-colombianas (KERN; COSTA, 1997), além das características mineralógicas desses solos orgânicos ou devido à presença de maior quantidade de carvão pirogênico (carvão vegetal). O carvão vegetal pode chegar a ser 70 vezes maior em relação aos solos de origem não antropogênica, onde ocorre rápida decomposição da matéria orgânica devido às altas temperaturas, precipitações elevadas e deficiência de minerais estáveis (MCCANN; WOODS; MEYER, 2001; GLASER, 2007).

Trabalhos com TPAs tiveram como objetivo a caracterização (CAMPOS et al., 2013; AQUINO et al., 2016), e a avaliação da variabilidade espacial de atributos de solos de solos com TPAs (AQUINO et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015a, OLIVEIRA 2015b, CAMPOS et al., 2016), mas não se preocuparam com os efeitos das TPAs na natureza. Os cientistas só vieram ampliar seus interesses pelas TPAs há uma década, quando a crescente preocupação com o aquecimento global, observou-se que o “biochar” pode ser uma grande fonte de reserva de carbono no subsolo. Entretanto o biochar teve origem a partir da descoberta da TPA, por meio da realização de estudos em solos antropogênicos na Amazônia, sendo um subproduto da queima proposital ou não de matéria orgânica em condições mínimas de oxigênio (LEHMANN et al., 2003).

Em seu trabalho, Cernansky (2015), salienta que há milhares de anos, os moradores da Amazônia ao aquecer a matéria orgânica (MO), formaram solos ricos e férteis, chamados terra preta. A prática foi abandonada na época em que as nações européias invadiram a América do Sul, e relativamente poucos agricultores têm rotineiramente usado estes solos. Um foco particular das áreas de

estudos do carvão presente nos solos sugere o efeito positivo dos carvões sobre propriedades físico-hídricas de solos (PICCOLO; PIETRAMELLARA; MBAGWU, 1996; TEIXEIRA et al., 2009), tal que a presença de fragmentos de carvão pirogênico pode aumentar significativamente a capacidade de retenção de água, especialmente em solos de textura arenosa, em função de sua estrutura altamente porosa, uma vez que cerca de 70 a 80 % do volume do carvão é formado por poros.

Alguns pesquisadores estão testando como o carvão pirogênico influencia a atividade microbiana no solo. A incorporação antrópica de fragmentos de carvão nas TPAs pode estar contribuindo para favorecer a atividade microbiana e reduzir a lixiviação de nutrientes, mantendo estável a fertilidade do solo e, conseqüentemente, a produtividade agrícola e a sustentabilidade (GLASER et al., 2003; STEINER et al., 2004). Comunidades microbianas do solo respondem de forma complexa ao fogo e à presença do carvão vegetal (PIETIKAINEN; KIIKKILA; FRITZE, 2000). A interação dos microrganismos com o carvão ainda não é bem compreendida, justificando a necessidade de estudos envolvendo a avaliação da estrutura de comunidades microbianas presentes neste micro-habitat e, ainda, o seu papel na manutenção das propriedades físicas, químicas e das características biológicas dos solos com TPA.

Sendo as TPAs, consideradas um biochar natural, segundo Lehmann e Joseph (2009), algumas pesquisas indicam que o uso do biochar tem potencial global de sequestro de CO₂ atmosférico na escala de bilhões de toneladas (109 t ano⁻¹) no espaço de 30 anos. No entanto, até o presente, os resultados publicados refletem estudos de uso em pequena escala impedindo generalizações quanto a diferentes regiões geográficas (SOHI et al., 2009). O carvão vegetal se apresenta como um bom material para o alcance de um solo segundo o modelo TPA, pois apresenta grupos aromáticos condensados, que garantem a sua resistência à degradação química, ou recalcitrância, sendo potencialmente um eficiente material para sequestro de carbono. Tais propriedades, por sua vez, normalmente resultam em maior crescimento e produtividade vegetal.

As TPAs apresentam níveis elevados da maioria dos nutrientes essenciais ao crescimento das plantas, muito superiores aos níveis críticos para a maioria das plantas cultivadas na Amazônia, mesmo após longos períodos de cultivo. Dessa forma, tornou-se uma possibilidade de inovação para a melhoria do crescimento de plantas em diversas culturas agrícolas e para o setor florestal, principalmente na subárea de viveiros florestais e recuperação de áreas degradadas. Por outro lado, a análise bibliométrica na base de artigos da SCOPUS indica aumento de pesquisas sobre os temas “soil archeological black” (terra preta arqueológica) (Figura 1).

É possível destacar o crescimento no quantitativo de publicações ao longo dos anos, sendo mais expressivo na última década para os termos *Soil archeological Black*. O Brasil se destaca com o Museu Paraense Emílio Goeldi para o termo *Soil archeological Black* (Figura 1).

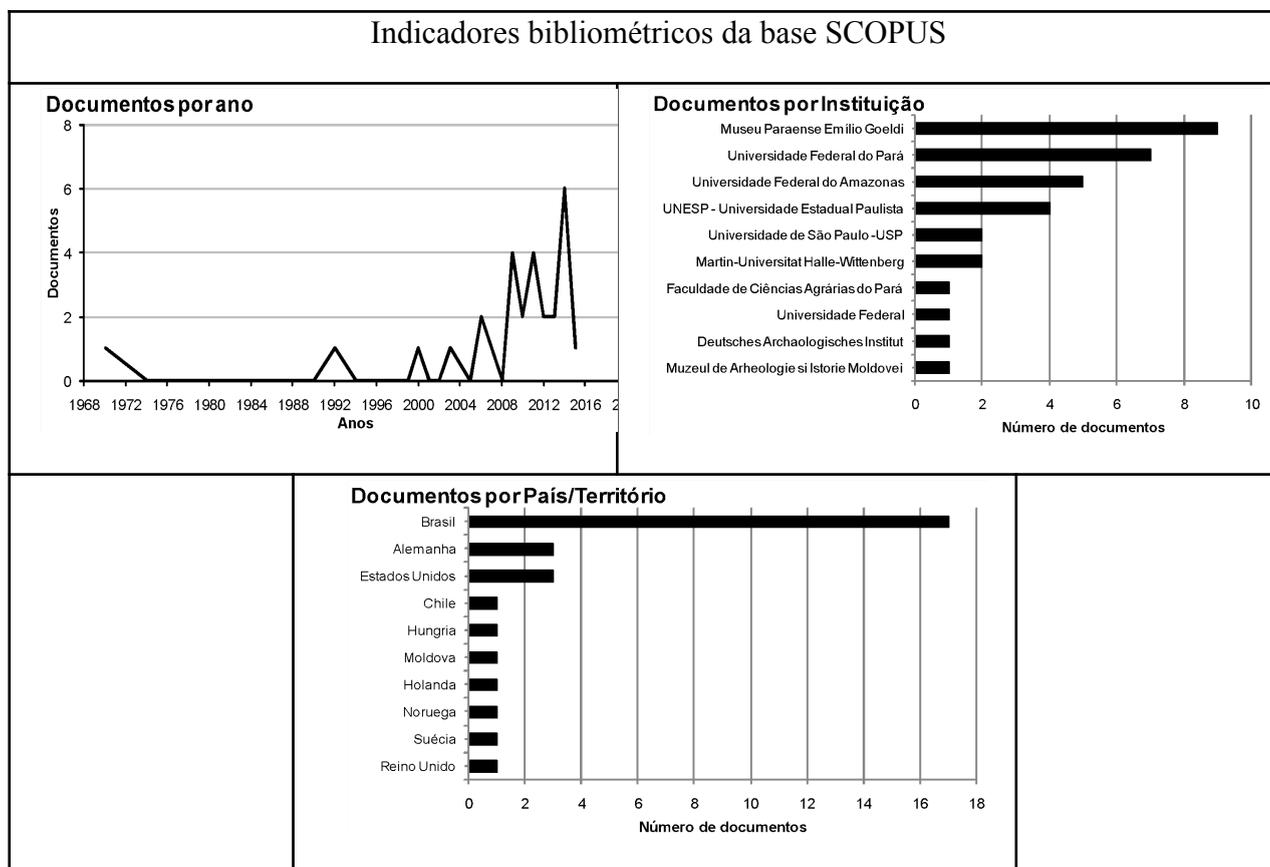


Figura 1. Análise bibliométrica dos termos “Soil archeological black” na base de dados SCOPUS (pesquisa realizada em 2 de julho de 2016).

2.2 Suscetibilidade magnética em Terras Pretas Arqueológicas: indicador de transformações

A SM é uma característica dos minerais presentes nas rochas e no solo, o qual pode ser definida como a medida da facilidade com que um material se magnetiza em presença de um campo magnético (VEROSUB; ROBERTS, 1995). Partindo deste princípio, pode-se afirmar que ela é afetada pelos mesmos fatores de formação do solo, ou seja, pelo clima (DEARING et al., 2001), material de origem (FONTES et al., 2000), relevo (JONG, PENNOCK; NESTOR, 2000) fauna/flora (DEARING; LEES; WHITE, 1995), entre outros. Nesse sentido, Schachtschabel et al. (1998) e Maher e Thompson (1991) afirmaram que a SM é sensível às variações dos fatores e processos de formação do solo, podendo ser expressa nas propriedades cristalográficas dos minerais presentes nos sedimentos e no solo.

A mineralogia dos solos afeta diretamente as variações da SM nos solos. O modelo pedogênico atual de formação dos óxidos de ferro pressupõe, essencialmente, através de dois mecanismos diferentes,

a saber: (1) precipitação a partir de Fe^{2+} ou Fe^{3+} , pelo efeito do intemperismo das rochas; e (2) a conversão de um precursor de óxido de Fe por dissolução/reprecipitação ou por via de um processo de estado sólido (CORNELL; SCHWERTMANN, 2003). A hidrólise, oxidação, desidratação, desidroxilação, redissolução e reações de cristalização potencialmente envolvidas compõem um cenário complexo, no qual a hematita (Hm) e goethita (Gt) são os óxidos de ferro mais comuns em virtude das suas maiores estabilidades termodinâmicas. O precursor destes minerais é frequentemente ferrihidrita, que pode ser convertida em Hm por agregação-desidratação-rearranjo ou em Gt por dissolução-reprecipitação (BIGHAM et al., 2002) (Figura 2).

Nos solos, altos valores da SM podem estar associados à presença do mineral litogenético magnético (RESENDE et al., 1988), enquanto que os valores magnéticos nos ambientes sedimentares estão associados a maior presença de minerais pedogenéticos, como a maghemita e a ferridrita ferrimagnética (DUNSHENG et al., 2007; TORRENT; LIU; BARRÓN, 2010). A literatura sugere que a formação destes óxidos de ferro magnéticos (maghemita) pode ocorrer através do aquecimento da lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$), 200 °C a 300 °C advinda da ferrihidrita, que após o aquecimento termal (fogo), produz diretamente maghemita (BARRÓN; TORRENT, 2013) (Figura 2). A formação da ferrihidrita ferrimagnética (superparamagnética), pode ter sua formação influenciada pela presença de citratos e fosfatos, que bloqueiam a ferrihidrita antes da formação de Hm (MICHEL et al., 2010; BARRÓN; TORRENT, 2013). Para Mullins (1977) e Schwertmann e Cornell (1991), outro mecanismo de formação de maghemita no solo é pela queima de outros óxidos de ferro, como a Gt e a Hm, na presença de material orgânico, sendo esta a rota de formação de minerais que mais explica a presença de minerais magnéticos nas TPAs (Tabela 1), conforme encontrado por Costa et al. (2004), uma vez que a presença de fogo era uma prática comum no processo de formação desses solos, conforme destacado na Figura 2.

Os vários destinos do íon ferro é determinado pelas condições do ambiente, como pH, potencial redox (Eh), temperatura, umidade, teor de matéria orgânica, composição da solução do solo e o estado de oxidação do ferro. O ferro pode recombina-se com oxigênio formando grupos específicos denominados de óxidos, hidróxidos ou oxihidróxidos, generalizados neste contexto como óxidos de ferro (Figura 2), os quais são estáveis em solos intemperizados (SCHULZE, 1989; SPOSITO, 1989). Estas condições ambientais, naturais ou não, formam os principais óxidos e hidróxidos de Fe encontrados no solo como a hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), goethita ($\alpha\text{-FeOOH}$), lepidocrocita ($\gamma\text{-FeOOH}$), a magnetita (Fe_3O_4), ferrihidrita ($\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) e a green rust ($\text{Fe}^{+3}(\text{OH})_2\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O})$) (Figura 2).

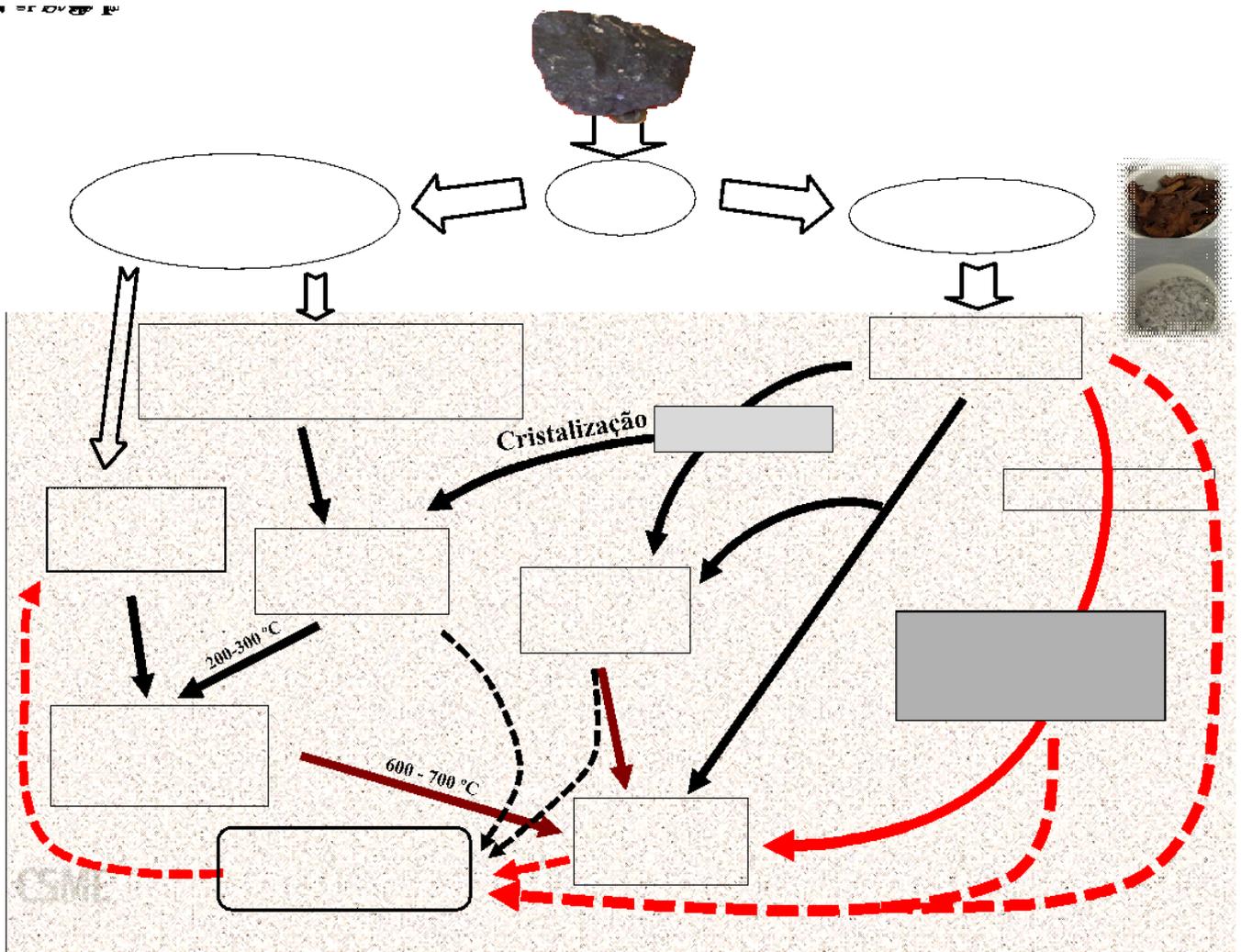


Figura 2. Vias de formação e transformação dos óxidos de ferro. Fonte: Adaptado de Barron e Torrent (2013).

Além das aplicações em estudos da gênese de solos tropicais, a SM também está sendo utilizada e proposta como indicadora de uso e ocupação do solo, auxiliando no planejamento estratégico de áreas agrícolas para: conservação do solo (MARQUES JÚNIOR et al., 2013), aplicação de água residuária (PELUCO et al., 2013), respiração do solo (LEAL et al., 2015), uso racional do fósforo (MARQUES JÚNIOR et al., 2014; CAMARGO et al., 2016). A SM também foi utilizada para estudo de caracterização e variabilidade espacial, comparando área agrícola com TPA na Amazônia (OLIVEIRA et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2015b).

Tabela 1. Composição mineralógica de fragmentos cerâmicos e materiais utilizados.

Composição mineralógica	Cauixi ¹	Cariapé ²	Areia
	-----%		
Quartzo	42,4	41,2	49,8
Caulinita	30,6	29,4	25,7
Maghemita	2,3	4,2	-
Hematita	4,3	8,2	4,4

Goethita	3,4	7,1	-
Anatásio	0,9	0,9	0,8

Fonte: COSTA et al., (2004). ¹= É um espongiário (*Tubella reticulata* e *Parnula betesil*) de água doce que se aloja nos galhos e troncos das árvores, de barcos e nos sedimentos de fundo de lagos, rios e é formada por SiO₂ amorfa; ²= casca de árvore (*Bignoniaceae*, *Moquilea*, *Licania utilis* e *Turiuva*) que também se constitui de SiO₂ amorfa.

Partindo do conhecimento da formação dos minerais nos solos, fica evidente que estes atributos devem ser considerados em pesquisas que visam estabelecer o potencial agrícola e ambiental de solos. Sendo assim, na ciência do solo, a SM pode ser usada como método alternativo para compreender os atributos do solo (GRIMLEY; VEPRASKAS, 2000). Este método pode facilitar o conhecimento sobre a variabilidade dos atributos do solo, sendo esta, útil para identificar o potencial agrícola podendo garantir o desenvolvimento de forma sustentável das práticas de manejo do solo (LÓPEZ, 2009).

Neste sentido, na avaliação quantitativa de atributos do solo, a coleta e análise das amostras são as etapas mais intensivas e onerosas (McBRATNEY et al., 2003). De acordo com Dearing et al. (1996), o uso da SM é ideal para a realização de estudos que requerem avaliação de grande quantidade de amostras de solo. Assim, pesquisadores têm apontado a SM (SIQUEIRA; MARQUES JUNIOR; PEREIRA, 2010) como um atributo importante para a quantificação indireta de propriedades químicas, físicas e mineralógicas do solo.

3 Considerações finais

A suscetibilidade magnética é utilizada para auxiliar no entendimento das rotas de transformação de minerais de óxidos de ferro, sendo uma importante técnica para a detecção da possível presença de minerais nos solos, sendo utilizada em ciência do solo para fazer estimativas de atributos dos solos com maior facilidade e baixo custo.

Na ciência do solo, a SM tem sido usada como método alternativo para facilitar o conhecimento sobre a variabilidade dos atributos dos solos, sendo esta útil para identificar o potencial agrícola, uma vez que, a coleta de amostras é a etapa mais intensiva e onerosa, na avaliação quantitativa dos atributos do solo para o planejamento agrícola e ambiental. Sendo assim, a SM torna-se viável por ser uma técnica barata, segura, simples e rápida nos estudos de atributos dos solos, como a presença e o teor de óxidos de ferro ferrimagnéticos nos solos e sedimentos, além de elucidar o grau de evolução destes nos processos pedogenéticos da Terra Preta Arqueológica.

A SM pode auxiliar no entendimento dos processos que interferem na resposta das plantas na Terra Preta Arqueológica, visto que estes solos são altamente diferentes de solos adjacentes formados em condições naturais.

O presente trabalho aponta a necessidade de ajustes de metodologias de avaliação da suscetibilidade magnética e determinação dos minerais nas plantas, uma vez que pode ser encontrada suscetibilidade magnética nas cinzas das plantas. Os aparelhos de avaliação da suscetibilidade magnética usados atualmente são ajustados para avaliação de minerais no solo e não em plantas.

Referências

- AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, I. A.; TEIXEIRA, D. B.; CUNHA, J. M. Use of scaled semivariograms in sample planning of soil physical attributes in Southern Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n.1, p. 21-30, 2015.
- AQUINO, R. E.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; BAHIA, A. S. R. S.; SANTOS, L. A. C. Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas. **Geoderma**, Amsterdam, v. 262, n.2, p. 35-44, 2016.
- 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.
- BIGHAM, J. M.; FITZPATRICK, R. W.; SCHULZE, D. Iron oxides. In: DIXON, J. B; SCHULZE, D. G. **Soil mineralogy with environmental applications**. Madison, Soil Science Society of America, 2002. p.323-366 (Book Series, 7).
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; ALLEONI, L. R. F.; BAHIA, A. S. R. S.; TEIXEIRA, D. D. B. Pedotransfer functions to assess adsorbed phosphate using iron oxide content and magnetic susceptibility in an Oxisol. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 32, 1 n.2, p.72–182, 2016.
- CAMARGO, L. A.; MARQUES JUNIOR., J.; PEREIRA, G. T.; BAHIA, A. S. R. S. Clay mineralogy and magnetic susceptibility of Oxisols in geomorphic surfaces. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 71, n.3, p. 244-256, 2014.
- CAMPOS, M. C. C.; ALHO, L. C.; SILVA, D. A. P.; SILVA, M. D. R.; CUNHA, J. M.; SILVA, D. M. P. Distribuição espacial do efluxo de CO₂ em área de terra preta arqueológica sob cultivo de cacau e café no município de Apuí, AM, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n.4, p. 788-798, 2016.
- CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C.; ALMEIDA, M. C. Caracterização e Classificação de Terras Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n.3, p. 18-27, 2011.
- CAMPOS, M. C. C.; SANTOS, L. A. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIN, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JUNIOR, J.; FRANCA, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n.4, p. 825-836, 2013.

CERNANSKY, R. A charcoal-rich product called biochar could boost agricultural yields and control pollution. Scientists are putting the trendy substance to the test. **Nature**, Reino Unido, v. 517, n.7534, p. 258-260, 2015.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses**. Wiley: New York. 2003. p.664.

COSTA, A. C. S.; BIGHAM, J. M.; RHOTON, F. E.; TRAINA, S. J. Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil. **Clays and Clay Minerals**, New York, v.47, n. 4, p.466-473, 1999.

DEARING, J. A.; LEES, J. A.; WHITE, C. Mineral magnetic properties of acid gleyed soils under oak and Corsican pine. **Geoderma**, Amsterdam, v. 68, n.4, p. 309–319. 1995.

DEARING, J. A.; LIVINGSTONE, I. P.; BATEMAN, M. D.; WHITE, K. Palaeoclimate records from OIS 8.0–5.4 recorded in loess-palaeosol sequences on the Matmata Plateau, southern Tunisia, based on mineral magnetism and new luminescence dating. **Quaternary International**, Amsterdam, v. 76–77, n.1, p. 43–56. 2001.

DEARING, J. **Environmental magnetic susceptibility**: Using the Bartington MS2 System. 2.ed. Kenilworth: Chi Publishing, 1999. p.54.

DEARING, J. A.; HAY, K. L.; BABAN, S. M. K.; HUDDLESTON, A. S.; WELLINGTON, E. M. H.; LOVELAND, P. J. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. **Geophysical Journal International**, Oxford, v.127, n. 3, p.728–734, 1996.

DUNSHENG, X.; MING, J.; XIUMING, L.; FAHU, C.; JIANYING, M.; HUI, Z.; XUNMING, W.; HAITAO, W. A preliminary study on the magnetic signatures of modern soil in Central Asia. **Frontiers Earth Science**, China, v.1, n.3, p.275–283, 2007.

FONTES, M. P. F.; OLIVEIRA, T. S.; COSTA, L. M.; CAMPOS, A. A. G. Magnetic separation and evaluation of magnetization of Brazilian soils from different parent materials, **Geoderma**, Amsterdam, v. 96, n. 3, p. 81–99, 2000.

GLASER, B. Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v.362, n.1478, p.187–196, 2007.

GLASER, B.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W.; RUIVO, M. L. Soil organic matter stability in Amazonian Dark Earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; GLASER, B.; WOODS, E. I. **Amazonian Dark Earths**: Origin, properties, management, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. cap. 8, p. 141-158.

GRIMLEY, D. A.; VEPRASKAS, M. J. Magnetic Susceptibility for Use in Delineating Hydric Soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.64, n.6, p.2174-2180, 2000.

HOUYUAN, L.; DONGSHENG, L. The effect of C3 and C4 plants for the magnetic susceptibility signal in soils. **Science in China Series D**, Beijing, v. 44, n. 4, p. 318-325, 2001.

JONG, E.; PENNOCK, D. J.; NESTOR, P. A. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Saskatchewan, Canada. **Catena**, Amsterdam, v. 40, n.3, p. 291–305, 2000.

KAMPF, N.; KERN, D. C. O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. *In*: TORRADO-VIDAL, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v.4. p.277-320.

KERN, D. C.; COSTA, M. L. Os solos antrópicos. *In*: LISBOA, P. L. P. **Caxiuanã**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeld, 1997. cap.3, p. 105-119.

KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G.; MYERS, T. P. Distribution of antropogenic dark earths. *In*: LEHMANN, J.; KERN, D.C.; WOODS, W.; GLASER, B. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. 1 ed. Norwell: Kluweracademic Publishers, p.51-76. 2003.

KERN, D.C.; KÄMPF, N. Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.3, p.219-225, 1989.

LEAL, F. T.; FRANÇA, A. B. C.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, B.; MARQUES JÚNIOR, J.; SCALA JÚNIOR, N. Characterization of potential CO2 emissions in agricultural areas using magnetic susceptibility. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 72, n.6, p. 535-539, 2015.

LEHMANN, J.; KERN, D.C.; GLASER, B.; WOODS, W. I. **Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management**. Kluwer Academic Publishers: Dodrecht, 2003. p.523.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for enviromental management: An introduction. *In*: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for enviromental management: Science and Technology**. Londres: Earthscan, 2009. cap. 1.p.1-12.

LIMA, H. N. **Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental**. Viçosa, 2001. 176 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LIMA, H. N.; SCHAEFER, C. E.R.; MELLO, J. W. V. GILKES, R. J.; KER, J. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian Black Earth”) of Western Amazonia. **Geoderma**, Amsterdam, v.110, n.1, p.1–17, 2002.

LÓPEZ, L. R. **Pedologia quantitativa: espectrometria VIS-NIR-SWIR e mapeamento digital de solos**. 2009. 171 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

LU, S. G.; XUE, Q. F.; ZHU, L.; YU, J. Y. Mineral magnetic properties of weathering sequence of soils derived from in Eastern China. **Catena**, Amsterdam, v.73, n.1, p.23-33, 2008.

MAHER, B. A.; THOMPSON, R. Mineral magnetic record of the Chinese loess and paleosols. **Geology**, v.19, n.1, p.3–6, 1991.

MARQUES JUNIOR, J.; SANTOS, H. L. ; MATIAS, S. S. R. ; SIQUEIRA, D. S. ; MARTINS FILHO, M. V. Erosion factors and magnetic susceptibility in different compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n.1, p. 64-74, 2013.

MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. B.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Magnetic susceptibility and diffuse reflectance spectroscopy to characterize the spatial variability of soil properties in a Brazilian Haplustalf. **Geoderma**, Amsterdam, v. 219-220, n.1, p. 63-71, 2014.

McBRATNEY, A.B.; MINASNY, B.; CATTLE, S. R.; VERVOORT, R. W. From pedotransfer functions to soil inference systems. **Geoderma**, Amsterdam, v.109, n.1-2, p.41-73, 2002.

MCCANN, J. M.; WOODS, W. I.; MEYER, D. W. Organic matter and anthrosols in Amazonia: interpreting the Amerindian legacy. In: REES, R.M., BALL, B.C., CAMPBELL, C.D., WATSON, C.A. **Sustainable management of soil organic matter**. Wallingford: CAB International, 2001. p. 180-189.

MEGGERS, B.J. **Amazonia: man and culture in a counterfeit paradise**. Washington: Smithsonian Institution Press, 1996. p. 214.

MICHEL, F.M.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; MORALES, M.P.; SERNA, C.J.; BOILY, J.F.; LIU, Q.S.; AMBROSINI, A.; CISMASU, A.C.; BROWN, G.E. Ordered ferrimagnetic form of ferrihydrite reveals links among structure, composition, and magnetism. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**. USA, v.107, n.7, 2787–2792, 2010.

MULLINS, C. E. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science-a review. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 28, n.2, p.223–246, 1977.

NEVES, E. G.; PETERSEN, J. B.; BARTONE, R. N.; SILVA, C. A. The historical and social origins of Amazonian Terras Pretas. In: LEHMANN, J.; GLASER, B.; WOODS, W. I. **Amazonian Dark Earths: Origin, properties and management**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003. p. 1-45.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; AQUINO, R. E.; TEIXEIRA, D. B.; SILVA, D. M. P. Use of scaled semivariograms in sample planning of soil chemical attributes in southern Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n.1, p. 31-39, 2015b.

OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; FREITAS, L.; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos do solo em Argissolos da região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n.3, p. 668-681, 2015a.

PELUCO, R. G.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; PEREIRA, G. T.; BARBOSA, R. S.; TEIXEIRA, D. B.; ADAME, C. R.; CORTEZ, L. A. Suscetibilidade magnética do solo e estimação da capacidade de suporte à aplicação de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.6, p.661-672, 2013.

PETERSEN, J. B.; NEVES, E.; HECKENBERGER, M. J. Gift from the past: Terra Preta and prehistoric Amerindian occupation in Amazonia. In: MCEWAN, C.; BARRETO, C.; NEVES, E. G. **Unknown Amazon: culture in nature ancient Brazil**. London: The British Museum Press, 2001. p. 86-105.

PICCOLO, A.; PIETRAMELLARA, G.; MBAGWU, J.S.C. Effects of coal-derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. **Soil Use and Management**, Malden, v. 12, n.4, p. 209-213, 1996.

PIETIKAINEN, J.; KIIKKILA, O.; FRITZE, H. Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. **Oikos**, Kobenhavn, v.89, n.2, p. 231-242, 2000.

RESENDE, M.; SANTANA, D. P.; FRANZMEIER, D. P.; COEY, J. M. D. Magnetic properties of Brazilian Oxisols. In: **International Soil Classification Workshop**, Rio de Janeiro, 1988. Proceedings. Rio de Janeiro, 1988. p.78-108.

SCHACHTSCHABEL, P.; BLUME, H. P.; BRÜMMER, G.; HARTGE, K. H. SCHWERTMANN, U. **Lehrbuch der Bodenkunde (Scheffer/Schachtschabel)**. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1998. p. 494.

SCHULZE, D.G. An introduction to soil mineralogy. In: DIXON, J. B.; WEED, S. B. **Minerals in soil environments**. 2. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1989. cap. 1. p.1-34.

SCHWERTMANN, U.; CORNELL, R.M. **Iron oxides in laboratory**. New York: Cambridge, 1991. p.137.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. The use of landforms to predict the variability of soil and orange attributes. **Geoderma**, Amsterdam, v.155, n.1, p.55-66, 2010.

SIQUEIRA, D. S.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; TEIXEIRA, D. B.; VASCONCELOS, V.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S. Detailed mapping unit design based on soil-landscape relation and spatial variability of magnetic susceptibility and soil color. **Catena**, Amsterdam v. 135, p. 149-162, 2015.

SOHI, S.; LOEZ-CAPEL, E.; KRULL, E.; BOL, R. **Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs**. CSIRO Land and Water Science. Report, 2009. 64 p.

SOMBROEK, W. Amazon landforms and soils in relation to biological diversity. **Acta Amazonica**, Manaus, v.30, n.1, p.81-100, 2000.

SOUZA JÚNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S.; VILAR, C. C.; HOEPERS, A. Mineralogia e susceptibilidade magnética dos óxidos de ferro do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 513-519, 2010.

SPOKAS, K.; MARQUES JUNIOR, J.; LA SCALA, N.; NATER, E.; SIQUEIRA, D.S. **Black Earths (Terra Preta): Observations of wider occurrence from residual fire**. In: LAL, R. (Eds.). **Encyclopedia of Soil Science**, 2. ed. North Andover: Aries Systems Corporation, 2015, cap.1. p. 1-4

SPOSITO, G. **The surface chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, 1989. p. 234.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; LEHMANN, J.; ZECH, W. Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian Dark Earths in Central Amazonia - Preliminary results. In: GLASER, B.; WOODS, W. I. **Amazonian Dark Earths: explorations in space and time**. Heidelberg: Springer Verlag, 2004. p. 195-212.

TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G. C.; MACEDO, R.S.; NEVES-JUNIOR, E. F.; MOREIRA, A.; BENITES, V. M.; STEINER, C. As propriedades físicas e hídricas dos horizontes antrópicos das Terras Pretas de Índio na Amazônia Central. In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D.C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. cap.18, 242-250 p.

TORRENT, J.; LIU, Q. S.; BARRÓN, V. Magnetic susceptibility changes in relation to pedogenesis in a Xeralf chronosequence in northwestern Spain. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.61, n.2, p.161–173. 2010.

VEROSUB, K. L.; ROBERTS, A. P.Environmental magnetism: past, present and future. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.100, n. b2, p.2175–2192, 1995.

Recebido em: 12/09/2021

Aceito em: 17/05/2022

Endereço para correspondência:

Nome: Milton César Costa Campos

Email: mcesarsolos@gmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)