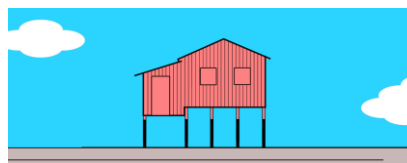


Capítulo 15



Avaliação da susceptibilidade magnética e da condutividade elétrica aparente dos solos da XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos

Lillyane Gomes de França Valle

Jonatan Alves Pereira

Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro

José Francisco Lumbreras

Edgar Shinzato

Wenceslau Geraldes Teixeira

1. Introdução

A susceptibilidade magnética (SM) e a condutividade elétrica aparente (CEa) são propriedades dos minerais, da matéria orgânica e de solutos do solo, cujos dados têm sido cada vez mais utilizados na ciência do solo, especialmente na agricultura de precisão. Diversas características do solo de interesse agrônomo são estimadas indiretamente, incluindo teores de argila, teores de ferro e produtividade de cultivos (Resende et al., 1988; Silva et al., 2010; Marques Júnior et al., 2014; Ramos et al., 2017; Filla et al., 2021; Silva Júnior et al., 2021). A SM também tem sido aplicada em estudos de geoarqueologia no Brasil (Sousa et al., 2015, 2018, 2022; Teixeira et al., 2015, 2018, 2023; Söderström et al., 2016). Por ser uma medida rápida, não destrutiva e realizável in situ ou em laboratório, a avaliação da SM apresenta grande potencial como parâmetro auxiliar no mapeamento de classes de solos tropicais (Silvero et al., 2019), além de contribuir para a identificação do material de origem do solo. Já a CEa é útil no monitoramento da salinidade, na identificação de zonas com diferentes texturas ou teores de umidade e na detecção de áreas com déficit hídrico (Friedman, 2005).

1.1. A Susceptibilidade Magnética

A SM é caracterizada como a capacidade de um material ser magnetizado ao ser submetido a um campo magnetizante, representando a relação entre a soma dos momentos magnéticos (M em $A\ m^{-1}$, onde A representa ângström) e o campo magnético (H em $A\ m^{-1}$) (Equação 1). No sistema internacional (SI), a SM é adimensional (Weast; Astle, 1983; Teixeira et al., 2019).

$$SM(\kappa) = \frac{M}{H} \quad (1)$$

Para realizar a conversão dos valores de SM no SI, em uma base gravimétrica, expressa em $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$, é necessário multiplicar a SM pela densidade do material, que é medida em kg m^{-3} . Isso implica que variações na densidade do solo coletado em campo, em comparação com a densidade obtida em condições laboratoriais (densidade da terra fina seca ao ar - TFSA), bem como a heterogeneidade dos solos, podem impactar significativamente os valores de SM. Para essa conversão, estimativas da densidade do solo destorroado e peneirado em malha de 2 mm, que normalmente são referidas como TFSA, podem ser empregadas. Bases de dados, como o WoSIS-ISRIC (Batjes et al., 2020), disponibilizam informações sobre a densidade da TFSA.

Além disso, os minerais presentes no solo podem ser categorizados em três classes com base em suas propriedades magnéticas. A primeira classe, os minerais ferrimagnéticos, é caracterizada por apresentar propriedades magnéticas naturais e elevados valores de SM, como é o caso da magnetita (Mt), maghemita (Mh), titanomagnetita e pirrotita, cujos valores variam entre 1000 e $50 \times [10^{-3}] \text{ m}^3 \text{kg}^{-1}$. A segunda classe é composta de minerais paramagnéticos, como hematita, goethita, olivina, biotita, vermiculita e dolomita, com valores de SM que variam entre 1 e $0,01 \times [10^{-3}] \text{ m}^3 \text{kg}^{-1}$. Por fim, a terceira classe abrange os minerais diamagnéticos, que apresentam valores de SM muito baixos ou negativos, como a calcita, quartzo, caulinita e matéria orgânica, com variações de -0,0048 a $0,019 \times [10^{-3}] \text{ m}^3 \text{kg}^{-1}$ (Weast; Astle, 1983; Teixeira et al., 2019).

Muitos solos tropicais são caracterizados por altos valores de SM, resultado não apenas da abundância de ferro, mas também da presença de minerais de ferro específicos, como a Mt e a Mh. A Mt, geralmente encontrada na fração arenosa, e a Mh, mais comumente na fração argilosa, são minerais ferrimagnéticos típicos em solos derivados de rochas máficas, como basaltos, diabásios, anfíbolitos e tufitos (Resende et al., 1986; Fabris et al., 1998). Além desses, muitos solos brasileiros contêm altos teores de ferro na forma de oxi-hidróxidos, como a hematita (Hm) e a goethita (Gt). Apesar de seus elevados teores de ferro, esses minerais paramagnéticos apresentam valores relativamente baixos de SM (Teixeira et al., 2018, 2019; Fontes et al., 2000).

A análise de minerais-traço, como vanádio (Vn), zircônio (Zr) e tório (Th), pode indicar que os minerais ferrimagnéticos presentes em um solo derivam dos minerais da rocha matriz, especialmente em solos provenientes de rochas basálticas. Esses minerais raramente estão associados à formação da Mt e da Mh por processos pedogenéticos (Curi; Franzmeier, 1987). A origem da Mh, em particular, gera controvérsias: pode ser um legado da rocha original (Resende et al., 1986), resultante da alteração de Mt e Hm (Mullins, 1977; Resende et al., 1986), ou ainda ser formada por neoformação (Singer et al., 1996) ou processos biológicos (Fassbinder et al., 1990). Além disso, a formação de minerais ferrimagnéticos também pode ocorrer por aquecimento, especialmente na presença de material orgânico (Resende et al., 1986; Anand; Gilkes, 1987). Esse fenômeno tem sido explorado para a utilização de dados de SM na avaliação e mapeamento de horizontes de solos antrópicos, como observado nas Terras Pretas de Índio (Oliveira et al., 2015; Söderström et al., 2016; Teixeira et al., 2018, 2019), sambaquis (Mansur et al., 2015; Bandeira et al., 2020), geoglifos (Teixeira et al., 2015) e abrigos (Sousa et al., 2015, 2018).

A utilização da SM na geoarqueologia é fundamentada na propriedade conhecida como magnetismo remanente. Essa propriedade manifesta-se pelo aumento ou diminuição da SM original em minerais ferrimagnéticos e ferromagnéticos quando expostos ao calor (Sternberg, 2001). A transformação de Hm e Mt em Mh em altas temperaturas e a degradação ou fragmentação dos grãos de Mt e Mh são os principais processos responsáveis por essa alteração. No estudo da composição mineralógica de horizontes antrópicos, Macedo (2014) encontrou a presença de Mt e Mh em horizontes antrópicos (Terra Preta de Índio) e em cerâmicas arqueológicas, enquanto solos subjacentes e adjacentes não mostraram a ocorrência desses minerais.

O emprego de valores de SM como critério para a classificação de solos antrópicos pode ser uma abordagem promissora, funcionando como um índice relativo. Por exemplo, a razão entre a média ponderada da SM nos horizontes antrópicos e a média ponderada da SM nos horizontes não antrópicos pode ajudar a minimizar o impacto dos valores elevados de SM que resultam da presença de minerais ferri e paramagnéticos na rocha de origem, bem como de processos pedogenéticos anteriores. Solos formados a partir de rochas ígneas ou metamórficas, especialmente aqueles originários de rochas máficas, como as da Bacia do Paraná (São Paulo e Paraná) (Silvero et al., 2019) e da Serra dos Carajás (Pará) (Lima et al., 2014), exibem altos teores de Mt, resultando em valores elevados de SM mesmo na ausência de aquecimento.

1.2. A Condutividade Elétrica Aparente

A resistência elétrica (R) é uma medida que define a relação entre a diferença de potencial elétrico (V) aplicada a um material e a corrente elétrica (I) que o atravessa. Essa relação é expressa pela primeira Lei de Ohm (Equação 2):

$$V = R I \quad (2)$$

A segunda Lei de Ohm descreve a relação entre a resistência elétrica (R) de um material e suas características geométricas e físicas, incluindo o comprimento (L), a área da seção transversal (A) e uma constante intrínseca ao material, conhecida como resistividade elétrica (ρ) (Equação 3):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3)$$

A resistividade elétrica (ρ) está relacionada a um fator de proporcionalidade conhecido como condutividade elétrica (σ), que vincula o vetor da densidade de corrente elétrica (J) ao campo elétrico (E). Essa relação é o inverso da resistividade elétrica, expressa pela equação $\sigma = 1/\rho$ (Equação 4):

$$J = \sigma E \quad (4)$$

Uma maneira de se determinar a CEa do solo é pela aplicação de uma corrente elétrica e pela medição da diferença de potencial nas pontes de contato. Esse método, conhecido como método por contato direto (Molin; Rabello, 2011), apesar de ser simples, apresenta

limitações quando aplicado em medições em larga escala, uma vez que exige a inserção repetida das ponteiros no solo. Como alternativa, a condutividade pode ser avaliada utilizando-se o método de indução eletromagnética (IEM), conforme demonstrado na Figura 15.1. Nesse método, uma bobina de indução primária (L_p) cria um campo magnético oscilante (B_p), que se insere perpendicularmente no solo, induzindo correntes elétricas de Foucault. Essas correntes, por sua vez, geram um campo magnético secundário (B_s), que, ao interagir com uma bobina secundária de captação (L_s), produz um sinal elétrico que é medido pelo equipamento, refletindo as correntes induzidas no solo.

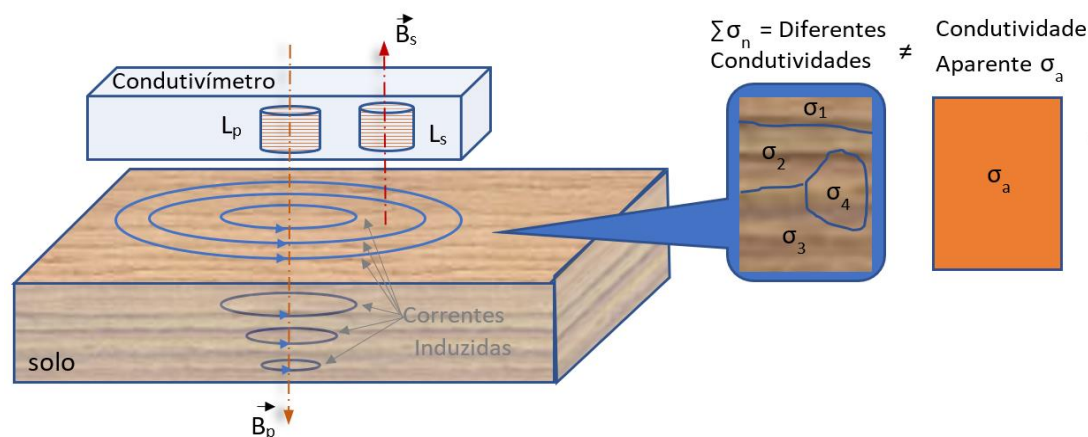


Figura 15.1. Diagrama esquemático da medição da condutividade elétrica aparente (CEa) utilizando o método de indução eletromagnética.

Fonte: Geraldo Roberto Carvalho Cernicchiaro (2020).

A heterogeneidade do solo resulta de variações na composição granulométrica, no teor de carbono orgânico e na presença de minerais como quartzo e mica, que podem atuar como isolantes elétricos. Além disso, diferentes distribuições de poros e variações no contato entre as partículas, assim como a concentração de eletrólitos na solução do solo, que mudam ao longo do tempo e do espaço, influenciam significativamente as medições da CEa (Corwin; Lesch, 2005). É fundamental considerar essa complexidade ao se interpretar os dados de CEa, pois ela reflete a variabilidade intrínseca do solo. A medição espacial da CEa oferece uma ferramenta valiosa para caracterizar essa heterogeneidade, permitindo a identificação de áreas com comportamentos semelhantes em relação a diversas propriedades físico-químicas.

Atualmente, ainda não existe uma base de dados robusta de SM e CEa no SI no Brasil que permita a criação de uma tabela de classificação para esses valores. Por essa razão, as discussões sobre a classificação de SM e CEa neste trabalho são realizadas comparativamente, utilizando-se os dados obtidos neste estudo e aqueles de pesquisas anteriores (Teixeira et al., 2018, 2019). Essa abordagem possibilita uma análise crítica dos resultados, contribuindo para uma melhor compreensão da dinâmica do solo em diferentes contextos.

O objetivo deste trabalho é demonstrar o potencial da avaliação da SM e da CEa na diferenciação de substratos geológicos, bem como na identificação de discontinuidades litológicas e na presença de minerais com variadas susceptibilidades ao campo magnético nos perfis de solo estudados durante a XV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - várzeas do Médio Rio Amazonas e entorno (XV RCC). Ao integrar essas medições,

espera-se contribuir para uma melhor caracterização e compreensão da heterogeneidade dos solos na região.

2. Material e métodos

As amostras estudadas são provenientes de 89 horizontes dos 17 perfis de solo selecionados para a XV RCC, classificados segundo Santos et al. (2018) (vide Capítulo 9). As análises de SM e CEa foram realizadas no Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo (LAMAS) da Embrapa Solos, localizado no Rio de Janeiro, RJ. Foram utilizados dois susceptibilímetros – condutivímetros.

Primeiramente, foi utilizado o KT-10 v2 (Terraplus, Canadá), com frequência de operação de 10 Hz (Figura 15.2). As avaliações da SM são realizadas na faixa de $0,001 \times 10^{-3}$ SI até $1999,99 \times 10^{-3}$ SI.



Figura 15.2. Susceptibilímetro magnético e condutivímetro - Modelo KT-10 v2.

Fonte: Terraplus (2021).

Posteriormente, empregou-se o susceptibilímetro-condutivímetro KT 20 S/C (Terraplus, Canadá), operando a uma frequência de 10 kHz (Figura 15.3). As medições de SM também foram feitas na faixa de $0,001 \times 10^{-3}$ a $1999,99 \times 10^{-3}$ SI. Quanto à CEa, foi avaliada entre 1 S m^{-1} e 100.000 S m^{-1} .



Figura 15.3. Susceptibilímetro magnético e condutivímetro - Modelo KT 20 S/C.

Fonte: Terraplus (2018).

Para estimativa de SM e CEa, amostras de TFSA foram depositadas e avaliadas numa placa de Petri de 7 cm de diâmetro e 1,0 cm de altura. Os aparelhos KT-10 v2 e KT 20 S/C

foram utilizados na função *sample measure* com a geometria ajustada para o diâmetro da placa (7 cm). As determinações foram feitas em triplicata, sobre uma caixa de isopor e sem a proximidade de equipamentos com campos eletromagnéticos (p. ex., celulares, relógios e balanças eletrônicas). Os dados apresentados são as médias aritméticas e os desvios-padrão.

Os valores medidos da SM são adimensionais (SI), e os dados da CEa são expressos em uS m^{-1} , apresentados na forma de tabelas e de gráficos *box plot* (onde o valor obtido para o perfil corresponde à média aritmética das SM dos seus horizontes). Foram feitas correlações lineares de Pearson com dados da SM, CEa e teores de argila, areia, SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 (determinados pelo ataque sulfúrico) e cátions trocáveis (valor T), que é apresentado na forma de correlograma. Os parâmetros da descrição geológica, da morfologia e de características dos solos utilizados neste estudo, assim como detalhes dos métodos da coleta e análise das amostras que originaram estes dados, são apresentados no Capítulo 9 desta publicação, que descreve os perfis de solo da XV RCC.

Foi estimada a densidade das amostras de TFSA (DE_{TFSA}) pela pesagem da massa da amostra contida num cachimbo de $9,21 \text{ cm}^3$ de volume. DE_{TFSA} foi quantificada em triplicata usando-se balança semianalítica ($\pm 0,001 \text{ g}$). O volume do cachimbo foi aferido por pesagem com água destilada (considerando-se que $1,00 \text{ cm}^3$ tem uma massa de $1,00 \text{ g}$ de água). O excesso de solo na parte superior do cachimbo foi nivelado e retirado com uma espátula para manter o volume constante. Com os valores de massa e de volume, foi calculada a DE_{TFSA} , a qual possibilitou transformar a unidade dos dados de SM por unidade de massa ($\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$). Segundo Thompson e Oldfield (1986), a SM por unidade de massa pode ser determinada dividindo-se a SM (adimensional) pela densidade em kg m^{-3} . Desse modo é possível a comparação dos resultados aqui obtidos com os de outros trabalhos, que apresentam os dados de SM nessa unidade (Arroyo-Kalin, 2010; Santos et al., 2023).

3. Resultados e discussão

3.1. Análises de SM e CEa nos solos da XV RCC

Os dados avaliados da SM e da CEa, bem como de alguns atributos físico-químicos dos 17 perfis de solos da XV RCC, estão apresentados na Tabela 15.1. Os dados de SM e CEa são descritos por horizontes assim como as principais propriedades do solo que podem influenciar nesses valores (Tabela 15.1). Para facilitar a discussão e a comparação desses resultados, foram confeccionados gráficos de *box plot*, representados pelas cores correspondentes a cada classe de solo (Figura 15.4).

Tabela 15.1. Atributos físicos e químicos, susceptibilidade magnética (SM), condutividade elétrica aparente (CEa) e respectivos desvios-padrão (DP), avaliados em amostras de solos da XV RCC.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	----- g kg ⁻¹ -----							cmolc kg ⁻¹	kg m ⁻³	m ³ kg ⁻¹	.10 ⁻³	.10 ⁻³	uS m ⁻¹
Argissolo Amarelo Distrófico latossólico antrópico, textura média/argilosa/muito argilosa, epieutrófico, caulínítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
AM-01	Au1	0 – 8	553	304	111	72	47	8,3	3,4	15,8	1310 ± 0,004	1,6800.10 ⁻⁶	2,205 ± 0,021	1,553 ± 0,006	4,214 ± 0,224
AM-01	Au2	8 – 18	537	328	110	83	49	9,6	3,4	13,8	1290 ± 0,007	1,7700.10 ⁻⁶	2,283 ± 0,086	1,680 ± 0,010	5,246 ± 0,402
AM-01	Au3	18 – 37	514	371	128	103	56	11,3	3,7	13,5	1330 ± 0,004	1,8700.10 ⁻⁶	2,487 ± 0,048	1,863 ± 0,006	6,090 ± 1,467
AM-01	Au4	37 – 54	398	499	170	123	74	9,9	6,3	13,5	1220 ± 0,001	1,9300.10 ⁻⁶	2,364 ± 0,054	1,817 ± 0,015	4,713 ± 0,545
AM-01	Au5	54 – 73	398	495	178	128	75	10,4	6,7	13,3	1230 ± 0,005	1,5200.10 ⁻⁶	2,199 ± 0,063	1,657 ± 0,006	3,556 ± 0,464
AM-01	ABu	73 – 95	403	495	160	153	79	12,4	5,8	11,8	1220 ± 0,001	1,6100.10 ⁻⁶	1,962 ± 0,003	1,533 ± 0,015	2,909 ± 0,343
AM-01	BAu1	37 – 78	346	579	162	157	97	13,4	3,5	7,2	1200 ± 0,008	0,5940.10 ⁻⁶	0,071 ± 0,012	0,566 ± 0,009	3,370 ± 1,598
AM-01	BAu2	78 – 119	276	656	220	188	95	13,2	3,3	5,9	1180 ± 0,007	0,3400.10 ⁻⁶	0,402 ± 0,003	0,335 ± 0,002	1,728 ± 0,033
AM-01	Bt	119 – 153	263	686	237	189	99	14,1	3,2	5,6	1130 ± 0,008	0,1610.10 ⁻⁶	0,182 ± 0,004	0,179 ± 0,005	1,556 ± 0,231
AM-01	Bw	153 - 200	263	678	238	187	95	13,8	2,7	4,6	1140 ± 0,003	0,1160.10 ⁻⁶	0,132 ± 0,005	0,133 ± 0,000	1,215 ± 0,086
Latossolo Amarelo Distrófico petroplíntico, textura muito argilosa, A moderado, endoconcrecionário, álico, caulínítico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
AM-02	A	0-7	235	586	261	168	32	12,8	0,2	11,8	1010 ± 0,002	0,1230.10 ⁻⁶	0,125 ± 0,004	0,125 ± 0,001	1,424 ± 0,313
AM-02	BA1	7-15	173	646	230	172	31	12,8	0,2	4,8	1090 ± 0,004	0,0265.10 ⁻⁶	0,029 ± 0,003	0,054 ± 0,002	1,104 ± 0,032
AM-02	BA2	15-26	163	709	202	173	33	12,7	0,2	3,7	1080 ± 0,002	0,0464.10 ⁻⁶	0,050 ± 0,003	0,077 ± 0,001	1,199 ± 0,171
AM-02	Bw1	26-42	118	758	249	190	33	13,4	0,2	2,9	1060 ± 0,003	0,0368.10 ⁻⁶	0,039 ± 0,001	0,064 ± 0,004	1,013 ± 0,000
AM-02	Bw2	42-80	131	786	243	189	25	13,1	0,2	2,6	1040 ± 0,002	0,0048.10 ⁻⁶	0,005 ± 0,004	0,039 ± 0,003	1,388 ± 0,345
AM-02	Bw3	80-108	133	771	249	189	23	13,5	0,2	2,2	1050 ± 0,005	0,0153.10 ⁻⁶	0,016 ± 0,001	0,052 ± 0,001	1,198 ± 0,181
AM-02	Bw4	108-163	130	811	246	189	24	12,5	0,2	1,8	1050 ± 0,008	0,0163.10 ⁻⁶	0,017 ± 0,003	0,056 ± 0,002	1,236 ± 0,246
AM-02	Bwc1	163-177	138	781	232	190	28	12,4	0,2	1,8	1030 ± 0,004	0,0203.10 ⁻⁶	0,021 ± 0,002	0,053 ± 0,002	1,423 ± 0,033
AM-02	Bwc2	177-200	151	762	249	191	30	11,6	0,1	1,1	1070 ± 0,012	0,0215.10 ⁻⁶	0,023 ± 0,001	0,061 ± 0,003	1,429 ± 0,531
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico neofluvisólico, textura siltosa, A moderado, Tma, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.															
AM-05	Ag	0-5	42	214	196	112	59	5,6	1,1	22,0	960 ± 0,002	0,8010.10 ⁻⁶	0,770 ± 0,012	0,602 ± 0,002	<1
AM-05	2CAg	5-13	36	214	197	118	58	5,6	1,6	21,4	940 ± 0,005	0,5550.10 ⁻⁶	0,521 ± 0,007	0,605 ± 0,004	<1
AM-05	3Cg1	13-33	38	212	201	120	50	5,9	1,0	18,0	990 ± 0,007	0,3150.10 ⁻⁶	0,310 ± 0,015	0,281 ± 0,007	<1
AM-05	3Cg2	33-65	8	333	236	149	46	5,3	0,7	21,6	1080 ± 0,002	0,0936.10 ⁻⁶	0,101 ± 0,004	0,131 ± 0,004	<1
AM-05	3Cg3	65-115	18	265	197	139	68	5,8	1,0	22,6	1180 ± 0,004	0,0958.10 ⁻⁶	0,113 ± 0,006	0,144 ± 0,004	<1
AM-05	3Cg4	115-150	14	260	245	147	67	7,0	1,3	23,5	1170 ± 0,002	0,1270.10 ⁻⁶	0,149 ± 0,005	0,166 ± 0,006	<1

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	----- g kg ⁻¹ -----						cmolc kg ⁻¹	kg m ⁻³	m ³ kg ⁻¹	.10 ⁻³	.10 ⁻³	uS m ⁻¹	
Gleissolos Háplico Ta Eutrófico neofluvissólico, textura média/siltosa/média, A moderado, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-06	Apg	0-5	240	131	159	93	52	6,2	1,6	17,1	1030 ± 0,003	0,9940.10 ⁻⁶	1,02 ± 0,029	0,766 ± 0,007	<1
AM-06	2ACg	5-17	148	160	265	103	55	5,3	1,5	16,4	1070 ± 0,004	0,7660.10 ⁻⁶	0,821 ± 0,008	0,625 ± 0,003	<1
AM-06	3Cg1	17-42	210	137	185	107	56	6,4	1,4	15,4	1090 ± 0,006	0,8480.10 ⁻⁶	0,928 ± 0,003	0,711 ± 0,001	<1
AM-06	4Cg2	42-73	109	203	195	110	54	5,9	1,0	16,8	1150 ± 0,003	0,4440.10 ⁻⁶	0,521 ± 0,008	0,413 ± 0,005	<1
AM-06	5Cg3	73-105	177	177	151	104	65	5,2	1,0	16,7	1160 ± 0,008	0,4290.10 ⁻⁶	0,498 ± 0,004	0,385 ± 0,003	<1
AM-06	6Cg4	105-156	220	137	168	102	55	5,0	1,3	16,4	1170 ± 0,004	0,5100.10 ⁻⁶	0,596 ± 0,002	0,469 ± 0,002	<1
AM-06	7Cg5	156-192	84	172	223	122	59	6,3	1,3	18,3	1160 ± 0,007	0,4120.10 ⁻⁶	0,480 ± 0,025	0,405 ± 0,001	<1
Cambissolo Flúvico Ta Eutrófico gleissólico, textura média/siltosa, A moderado, Tma, hipoférrico, fase floresta tropical higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-07	A1	0-4	401	121	165	94	55	5,9	1,7	17,1	1080 ± 0,003	1,0200.10 ⁻⁶	1,102 ± 0,012	0,825 ± 0,003	<1
AM-07	A2	4-15	434	93	160	91	54	5,7	1,8	16,9	1030 ± 0,004	1,0400.10 ⁻⁶	1,070 ± 0,038	0,848 ± 0,006	<1
AM-07	BA	15-35	382	107	170	96	56	6,0	1,6	17,0	1110 ± 0,006	1,0400.10 ⁻⁶	1,159 ± 0,005	0,876 ± 0,005	<1
AM-07	Bi	35-87	397	111	161	89	55	5,2	1,5	16,1	1060 ± 0,004	1,0100.10 ⁻⁶	1,073 ± 0,005	0,813 ± 0,001	<1
AM-07	2C	87-126	242	147	179	97	55	5,1	1,2	17,2	1150 ± 0,004	0,7170.10 ⁻⁶	0,823 ± 0,001	0,626 ± 0,002	<1
AM-07	2Cg	126-200	127	153	181	109	55	6,1	1,6	18,6	1140 ± 0,005	0,7020.10 ⁻⁶	0,080 ± 0,001	0,618 ± 0,003	<1
Plintossolo Argilúvico Alumínico gleissólico, textura média/argilosa/muito argilosa, A moderado, epiálico, Tmoa, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-08	A	0-6	244	131	68	38	14	5,2	0,2	7,2	1120 ± 0,010	0,0445.10 ⁻⁶	0,050 ± 0,004	0,063 ± 0,003	1,122 ± 0,078
AM-08	Btg1	6-30	178	160	82	62	20	5,9	0,2	5,5	1220 ± 0,009	0,0477.10 ⁻⁶	0,058 ± 0,006	0,083 ± 0,000	1,084 ± 0,032
AM-08	2Btg2	30-49	105	365	154	112	37	8,7	0,2	8,8	1250 ± 0,009	0,0296.10 ⁻⁶	0,037 ± 0,002	0,067 ± 0,003	1,177 ± 0,096
AM-08	2Btgf1	49-67	131	461	200	152	95	8,3	0,3	11,3	1210 ± 0,008	0,0560.10 ⁻⁶	0,068 ± 0,003	0,087 ± 0,001	1,065 ± 0,000
AM-08	2Btgf2	67-101	127	467	223	160	86	7,2	0,2	13,4	1240 ± 0,009	0,0461.10 ⁻⁶	0,057 ± 0,001	0,088 ± 0,001	<1
AM-08	2Cg1	101-151	109	470	223	172	70	7,5	0,2	14,5	1200 ± 0,007	0,0531.10 ⁻⁶	0,064 ± 0,003	0,094 ± 0,001	1,176 ± 0,112
AM-08	3Cg2	151-175	49	789	274	205	72	9,1	-	28,5	1190 ± 0,006	0,0973.10 ⁻⁶	0,116 ± 0,004	0,138 ± 0,003	<1

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	----- g kg ⁻¹ -----							cmolc kg ⁻¹	kg m ⁻³	m ³ kg ⁻¹	.10 ⁻³	.10 ⁻³	uS m ⁻¹
Espodossolo Humilúvico Hiperespesso típico, textura muito arenosa/arenosa-média/média-arenosa, A fraco, endodúrico, fase campinarana equatorial arbórea, relevo plano.															
AM-09	A1	0-8	974	16	16	2	2	0,5	0,1	2,5	1500 ± 0,010	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,008 ± 0,001	<1
AM-09	A2	8-23	982	3	10	1	1	0,4	0,1	1,1	1580 ± 0,011	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,000 ± 0,000	1,237 ± 0,317
AM-09	AE	23-50	977	1	10	1	1	0,4	0,1	2,2	1590 ± 0,008	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,004 ± 0,001	<1
AM-09	E1	50-130	977	1	9	1	1	0,3	0,1	0,1	1680 ± 0,005	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,001 ± 0,002	<1
AM-09	E2	130-250	980	1	13	0	1	0,3	0	0,1	1700 ± 0,004	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,001 ± 0,001	<1
AM-09	2 E3	250-321	981	0	16	0	1	0,4	0,1	0,1	1720 ± 0,009	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,022 ± 0,002	<1
AM-09	3Bh	321-326	894	69	27	22	5	1,2	1,5	6,0	1380 ± 0,006	0,0036.10 ⁻⁶	0,005 ± 0,002	0,025 ± 0,002	<1
AM-09	4Bhsm	326-366	857	102	28	38	3	0,8	0,4	8,1	1390 ± 0,010	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,006 ± 0,001	1,436 ± 0,281
AM-09	4Bhs	366-380	889	81	26	38	3	0,7	0,4	7,8	1460 ± 0,009	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,006 ± 0,001	<1
AM-09	4Bs	380-396	876	96	35	30	2	1,4	0,2	4,1	1430 ± 0,007	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,007 ± 0,001	<1
AM-09	5C	396-410	705	188	83	91	1	2,2	0,1	2,9	1120 ± 0,007	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,001 ± 0,002	<1
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico vertissólico neofluvisólico, textura siltosa-média/média-siltosa, A moderado, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.															
AM-11	A1	0-5	145	187	170	103	60	5,4	1,5	17,6	1160 ± 0,005	0,4490.10 ⁻⁶	0,519 ± 0,006	0,393 ± 0,001	<1
AM-11	A2	5-17	84	177	184	115	61	5,4	1,6	17,2	1300 ± 0,004	0,3730.10 ⁻⁶	0,486 ± 0,003	0,453 ± 0,001	<1
AM-11	Cg1	17-41	165	174	174	109	60	6,2	1,5	16,8	1110 ± 0,009	0,5120.10 ⁻⁶	0,569 ± 0,006	0,448 ± 0,003	<1
AM-11	Cg2	41-61	184	160	144	104	62	4,7	1,4	17,2	1080 ± 0,004	0,5180.10 ⁻⁶	0,560 ± 0,004	0,440 ± 0,003	<1
AM-11	2Cg3	61-70	240	162	168	104	58	6,0	1,5	16,0	1150 ± 0,005	0,4820.10 ⁻⁶	0,555 ± 0,003	0,442 ± 0,001	<1
AM-11	3Cg4	70-86	296	123	150	86	52	5,1	1,3	13,7	1120 ± 0,006	0,7110.10 ⁻⁶	0,799 ± 0,003	0,597 ± 0,003	<1
AM-11	4Cg5	86-115	224	143	138	97	59	4,4	1,4	14,9	1250 ± 0,001	0,4830.10 ⁻⁶	0,603 ± 0,007	0,486 ± 0,004	<1
AM-11	4Cg6	115-160	282	127	135	84	52	6,2	1,4	13,3	1160 ± 0,005	0,7070.10 ⁻⁶	0,824 ± 0,004	0,630 ± 0,004	<1
Gleissolo Háplico Ta Distrófico neofluvisólico, textura média, A moderado, álico, epialumínico, Tmoa, fase floresta equatorial hidrófila de várzea, relevo plano.															
AM-12	Apg1	0-5	293	336	188	103	32	4,8	1,0	18,1	1260 ± 0,001	0,0700.10 ⁻⁶	0,088 ± 0,002	0,102 ± 0,002	<1
AM-12	2Apg2	5-11	483	248	124	75	18	4,2	0,6	11,0	1320 ± 0,005	0,0234.10 ⁻⁶	0,031 ± 0,000	0,056 ± 0,001	<1
AM-12	3Cg	11-38	648	136	68	47	6	3,9	0,3	4,5	1460 ± 0,003	0,0014.10 ⁻⁶	0,002 ± 0,002	0,035 ± 0,000	<1
AM-12	4Abg	38-63	689	138	60	45	4	4,3	0,4	3,2	1680 ± 0,009	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,026 ± 0,001	<1
AM-12	4C'g1	63-99	664	98	67	52	4	5,0	0,3	2,6	1450 ± 0,002	0,0034.10 ⁻⁶	0,005 ± 0,004	0,042 ± 0,001	<1
AM-12	5C'g2	99-150	666	146	70	55	6	5,1	0,3	2,6	1710 ± 0,010	0,0041.10 ⁻⁶	0,007 ± 0,001	0,049 ± 0,001	1,084 ± 0,032

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	----- g kg ⁻¹ -----							cmolc kg ⁻¹	kg m ⁻³	m ³ kg ⁻¹	.10 ⁻³	.10 ⁻³	uS m ⁻¹
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico neofluvisólico, textura média/arenosa/siltosa, A fraco, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
AM-15	Ag	0-4	631	40	92	53	36	4,5	1,1	9,7	1300 ± 0,000	0,7150.10 ⁻⁶	0,930 ± 0,009	0,687 ± 0,004	<1
AM-15	2C	4-11	781	19	77	44	32	4,6	1,1	5,6	1400 ± 0,006	0,8860.10 ⁻⁶	1,244 ± 0,027	0,984 ± 0,005	<1
AM-15	3Cg	11-15	264	107	156	94	51	5,0	1,3	14,7	1140 ± 0,002	0,4850.10 ⁻⁶	0,553 ± 0,003	0,439 ± 0,004	<1
AM-15	4C	15-19	250	112	88	49	39	4,9	1,2	8,2	1350 ± 0,004	0,9600.10 ⁻⁶	1,292 ± 0,018	1,003 ± 0,006	<1
AM-15	5Abg	19-23	57	186	179	103	54	5,0	2,0	21,3	1130 ± 0,007	0,3220.10 ⁻⁶	0,363 ± 0,004	0,311 ± 0,002	<1
AM-15	5Cg1	23-41	191	113	178	97	53	4,8	1,3	12,9	1200 ± 0,008	0,3960.10 ⁻⁶	0,476 ± 0,005	0,383 ± 0,003	<1
AM-15	6Cg2	41-60	71	181	180	108	54	5,1	1,3	14,8	1170 ± 0,008	0,2790.10 ⁻⁶	0,327 ± 0,008	0,289 ± 0,002	<1
AM-15	6Cg3	60-108	193	164	131	83	48	3,8	1,0	11,8	1220 ± 0,002	0,3010.10 ⁻⁶	0,367 ± 0,004	0,310 ± 0,003	<1
AM-15	7Cg4	108-145	299	121	143	89	48	4,5	1,4	12,2	1260 ± 0,004	0,3160.10 ⁻⁶	0,397 ± 0,002	0,324 ± 0,004	<1
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa, A moderado, mesoendosolódico, Tma, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.															
AM-16	Ag	0-4	37	210	158	119	55	4,9	1,4	19,1	1030 ± 0,003	0,3310.10 ⁻⁶	0,342 ± 0,002	0,284 ± 0,002	<1
AM-16	CAG	4-14	37	212	198	126	56	4,8	1,3	18,9	1040 ± 0,010	0,3390.10 ⁻⁶	0,353 ± 0,001	0,290 ± 0,002	<1
AM-16	2Abg	14-27	23	364	178	141	46	4,8	0,8	25,5	1100 ± 0,004	0,0761.10 ⁻⁶	0,084 ± 0,000	0,106 ± 0,001	<1
AM-16	2Cg	27-51	24	307	172	120	62	4,7	0,5	17,7	1270 ± 0,006	0,0669.10 ⁻⁶	0,085 ± 0,003	0,106 ± 0,002	<1
AM-16	2Cgn1	51-76	100	195	169	113	58	4,9	0,8	17,8	1330 ± 0,003	0,0973.10 ⁻⁶	0,129 ± 0,001	1,159 ± 0,001	<1
AM-16	2Cgn2	76-119	20	267	173	143	53	4,9	0,6	22,1	1300 ± 0,004	0,0815.10 ⁻⁶	0,106 ± 0,005	0,139 ± 0,001	<1
AM-16	2Cgn3	119-155	63	195	179	130	59	5,0	1,1	20,6	1270 ± 0,006	0,0947.10 ⁻⁶	0,120 ± 0,003	0,142 ± 0,002	<1
Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, epidistrófico, caulínítico, Tmb, mesoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
PA-05	A1	0-8	50	753	131	191	75	8,9	0,6	13,2	970 ± 0,010	0,5150.10 ⁻⁶	0,499 ± 0,001	0,397 ± 0,001	2,215 ± 0,000
PA-05	A2	8-27	20	825	194	189	75	11,5	0,4	7,4	1030 ± 0,010	0,4060.10 ⁻⁶	0,419 ± 0,007	0,317 ± 0,002	2,651 ± 0,407
PA-05	BA	27-47	15	889	230	188	83	12,9	0,3	5,0	1020 ± 0,009	0,2940.10 ⁻⁶	0,299 ± 0,003	0,239 ± 0,002	1,217 ± 0,172
PA-05	Bw1	47-72	16	915	251	191	81	13,2	0,3	4,4	1060 ± 0,005	0,2230.10 ⁻⁶	0,236 ± 0,005	0,202 ± 0,005	1,367 ± 0,198
PA-05	Bw2	72-130	21	825	246	190	84	14,4	0,3	3,7	1060 ± 0,005	0,1550.10 ⁻⁶	0,164 ± 0,004	0,153 ± 0,007	1,518 ± 0,205
PA-05	Bw3	130-190	41	745	242	192	83	11,9	0,3	2,9	1060 ± 0,004	0,1120.10 ⁻⁶	0,118 ± 0,004	0,128 ± 0,003	2,582 ± 0,882

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	----- g kg ⁻¹ -----							cmolc kg ⁻¹	kg m ⁻³	m ³ kg ⁻¹	.10 ⁻³	.10 ⁻³	uS m ⁻¹
Neossolo Quartzarênico Órtico húmico, textura arenosa-média, álico, fase cerrado equatorial subcaducifólio, relevo plano.															
PA-06	A1	0-6	857	95	26	25	7	1,4	0,4	14,4	1450 ± 0,002	0,0318.10 ⁻⁶	0,046 ± 0,001	0,057 ± 0,002	2,294 ± 1,294
PA-06	A2	6-22	873	81	31	26	7	1,5	0,4	9,7	1490 ± 0,008	0,0330.10 ⁻⁶	0,049 ± 0,003	0,049 ± 0,002	1,888 ± 1,323
PA-06	A3	22-52	873	80	32	28	8	1,9	0,3	7,1	1600 ± 0,003	0,0380.10 ⁻⁶	0,061 ± 0,000	0,068 ± 0,002	2,535 ± 1,554
PA-06	A4	52-89	891	83	29	21	12	1,9	0,2	4,7	1690 ± 0,003	0,0302.10 ⁻⁶	0,051 ± 0,009	0,056 ± 0,002	2,740 ± 1,831
PA-06	A5	89-125	878	87	28	20	13	1,7	0,2	4,4	1680 ± 0,002	0,0262.10 ⁻⁶	0,044 ± 0,004	0,055 ± 0,002	1,217 ± 0,197
PA-06	AC	125-169	884	81	31	27	8	1,9	0,2	3,4	1620 ± 0,004	0,0234.10 ⁻⁶	0,038 ± 0,007	0,059 ± 0,002	1,810 ± 0,589
PA-06	C	169-205	879	95	39	25	8	2,3	0,2	2,1	1580 ± 0,009	0,0159.10 ⁻⁶	0,025 ± 0,001	0,048 ± 0,001	1,443 ± 0,256
Latossolo Amarelo Distrófico húmico, textura muito argilosa, álico, epidistrófico, caulinitico, Tmb, hipoférrico, fase floresta equatorial perenifólia, relevo plano.															
PA-07	A1	0-15	57	675	235	191	48	9,9	0,7	24,9	980 ± 0,001	0,6240.10 ⁻⁶	0,609 ± 0,008	0,484 ± 0,002	2,688 ± 0,104
PA-07	A2	15-27	43	608	196	197	55	10,1	0,6	17,6	890 ± 0,001	0,5940.10 ⁻⁶	0,527 ± 0,004	0,420 ± 0,002	2,649 ± 0,241
PA-07	A3	27-40	45	735	196	193	54	10,2	0,5	15,6	890 ± 0,003	0,6460.10 ⁻⁶	0,576 ± 0,004	0,450 ± 0,005	2,040 ± 0,454
PA-07	A4	40-58	33	827	231	191	61	11,4	0,5	11,4	870 ± 0,004	0,5830.10 ⁻⁶	0,504 ± 0,005	0,394 ± 0,005	2,609 ± 0,125
PA-07	A5	58-78	32	849	191	190	55	14,9	0,4	9,3	960 ± 0,003	0,6000.10 ⁻⁶	0,574 ± 0,004	0,434 ± 0,005	2,158 ± 0,294
PA-07	AB	78-97	27	874	241	189	55	13,3	0,4	6,5	960 ± 0,002	0,4720.10 ⁻⁶	0,452 ± 0,003	0,358 ± 0,003	2,139 ± 0,474
PA-07	BA	97-137	25	816	279	189	56	13,4	0,4	5,2	980 ± 0,004	0,3020.10 ⁻⁶	0,297 ± 0,014	0,244 ± 0,015	1,636 ± 0,556
PA-07	Bw	137-200	40	788	225	190	59	12,6	0,3	3,5	1010 ± 0,004	0,1880.10 ⁻⁶	0,190 ± 0,001	0,165 ± 0,001	1,518 ± 0,392
Gleissolo Háplico Ta Eutrófico solódico vertissólico, textura argilosa/siltosa, A moderado, endossódico, Tma, fase floresta equatorial higrófila de várzea, relevo plano.															
PA-13	Apg	0-5	13	413	242	143	54	5,3	1,6	23,7	1060 ± 0,002	0,1400.10 ⁻⁶	0,149 ± 0,004	0,159 ± 0,002	1,03 ± 0,161
PA-13	2CAg	5-15	28	262	205	130	55	7,8	1,3	17,8	1140 ± 0,009	0,1910.10 ⁻⁶	0,278 ± 0,001	0,205 ± 0,001	<1
PA-13	2Cg1	15-32	24	226	208	127	56	5,7	1,2	16,5	1230 ± 0,009	0,1890.10 ⁻⁶	0,232 ± 0,001	0,218 ± 0,000	<1
PA-13	2Cg2	32-55	30	254	203	138	59	4,7	1,0	16,5	1340 ± 0,003	0,1150.10 ⁻⁶	0,154 ± 0,008	0,167 ± 0,001	<1
PA-13	3Cgn1	55-69	42	313	240	149	54	6,5	0,8	19,3	1260 ± 0,007	0,9690.10 ⁻⁶	0,122 ± 0,002	0,149 ± 0,002	1,207 ± 0,197
PA-13	3Cgn2	69-101	16	285	222	142	55	4,9	0,7	16,8	1260 ± 0,008	0,8240.10 ⁻⁶	0,104 ± 0,001	0,134 ± 0,001	<1
PA-13	3Cgn3	101-145	24	302	246	158	56	8,0	0,8	21,0	1300 ± 0,011	0,6240.10 ⁻⁶	0,081 ± 0,005	0,115 ± 0,000	1,121 ± 0,056

Continua...

Tabela 15.1. Continuação.

Perfil	Horizonte	Prof.	Areia	Argila	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	Valor T	Ds TFSA	SM*	SM KT 20 S/C	SM KT-10 Plus v2	CEa
-	Símb.	cm	----- g kg ⁻¹ -----							cmolc kg ⁻¹	kg m ⁻³	m ³ kg ⁻¹	.10 ⁻³	.10 ⁻³	uS m ⁻¹
Vertissolo Hidromórfico Órtico solódico, textura argilosa/siltosa, A fraco, endossolódico, eutrófico, Tma, fase campo equatorial hidrófilo de várzea, relevo plano.															
PA-14	A	0-3	40	534	269	158	51	5,4	1,6	36,8	840 ± 0,008	0,0704.10 ⁻⁶	0,059 ± 0,002	0,097 ± 0,002	1,01 ± 0,000
PA-14	2CAvg	3-20	21	495	278	176	47	5,6	0,8	23,9	1260 ± 0,004	0,0701.10 ⁻⁶	0,088 ± 0,000	0,122 ± 0,001	<1
PA-14	2Cvg1	20-43	6	374	251	162	54	4,6	0,5	19,0	1300 ± 0,005	0,0561.10 ⁻⁶	0,073 ± 0,002	0,105 ± 0,002	<1
PA-14	2Cvg2	43-71	18	418	264	175	57	6,1	0,6	20,1	1330 ± 0,001	0,0676.10 ⁻⁶	0,090 ± 0,002	0,127 ± 0,001	<1
PA-14	2Cvgn	113-150	24	414	292	186	61	5,4	0,4	28,4	1390 ± 0,005	0,0635.10 ⁻⁶	0,088 ± 0,001	0,120 ± 0,002	<1
PA-14	2C'vg1	150-170	30	299	242	161	66	5,5	0,5	21,6	1330 ± 0,010	0,0586.10 ⁻⁶	0,078 ± 0,002	0,113 ± 0,001	<1
PA-14	2C'vg2	170-205	42	306	241	163	65	5,2	0,7	23,7	1300 ± 0,007	0,0926.10 ⁻⁶	0,120 ± 0,002	0,143 ± 0,001	<1
Organossolo Háplico Hêmico típico, textura argilosa/média/orgânica fibrica, distrófico, epissápico e mesoendofibrico, muito lenhosa, fase campo tropical hidrófilo de várzea, relevo plano.															
PA-17	Hd1	0-4	206	386	188	132	19	3,7	1,8	40,1	690 ± 0,001	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,001	0,032 ± 0,001	1,12 ± 0,056
PA-17	Hd2	4-12	140	420	190	143	14	4,1	1,4	40,9	700 ± 0,008	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,020 ± 0,002	1,12 ± 0,147
PA-17	Hd3	12-29	308	281	165	116	12	2,4	0,9	68,6	590 ± 0,005	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,020 ± 0,002	1,092 ± 0,117
PA-17	2Ho1	29-65	67	130	-	-	-	-	-	9,7	440 ± 0,002	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,013 ± 0,004	<1
PA-17	2Ho2	65-90+	282	116	-	-	-	-	-	10,2	280 ± 0,001	0,0000.10 ⁻⁶	0,000 ± 0,000	0,003 ± 0,003	<1

Valor T corresponde à capacidade de troca catiônica; DP corresponde aos desvios-padrão da susceptibilidade magnética (SM) e da condutividade elétrica aparente (CEa), respectivamente.

*Os dados de SM transformados para unidade de kg m⁻³ serão apresentados na versão final, após avaliação em conjunto com um material de referência (carbonato de manganês).

O Argissolo Amarelo (AM-01) apresentou uma grande amplitude de valores de SM (Figura 15.4), com os quatro primeiros horizontes exibindo números muito distintos dos demais. Esse perfil possui horizontes antrópicos, denominados de Terra Preta de Índio (Teixeira et al., 2010; Macedo et al., 2017; Lombardo et al., 2022; Souza et al., 2025).

Nos solos antrópicos há processos de aquecimento dos minerais, em especial embaixo das fogueiras de cozimento e fornos de cerâmicas, onde ocorre o aquecimento do solo com baixa disponibilidade de oxigênio. Esse aquecimento causa um fenômeno denominado de termoremanência, que é o aumento da SM causado pelo aquecimento quando o solo atinge temperaturas por volta de 400 a 500 °C num ambiente hipóxico (Sternberg, 2001). Normalmente essas temperaturas no solo só são atingidas em locais específicos em sítios de habitação, ou no solo abaixo de fogueiras de aceiros de limpeza de roçados ou de queima de tocos de árvore que apresentam um processo de aquecimento prolongado. O magnetismo remanente, portanto, é uma ferramenta eficaz para identificar transformações antrópicas, pois reflete a capacidade dos minerais de manter uma assinatura magnética resultante de processos de queima, enriquecendo os minerais magnéticos presentes e indicando um passado de intensas intervenções humanas.

Um exemplo de solo antrópico foi estudado na RCC do Maranhão, no sambaqui de Panaquatira, onde o perfil MA-14 revelou a presença desse tipo de solo, evidenciada não apenas por traços de magnetismo remanente, mas também pelo acúmulo de materiais com altos teores de carbonato (como conchas) e de fósforo (espinhas de peixe, ossos, cinzas e resíduos vegetais) (Bandeira et al., 2020). Esses vestígios indicam um longo processo de intervenção humana no local, que modificou significativamente a composição do solo ao longo do tempo.

No perfil AM-01, é possível identificar amostras com maiores valores de SM por unidade de massa, como no horizonte Au1 (com $1,68 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$), que apresenta teores mais elevados de Fe_2O_3 (cerca de 47 g kg^{-1}), e um teor de argila de 304 g kg^{-1} . Esses solos exibem minerais magnéticos, como Mt ou Mh (Macedo et al., 2017). As características mineralógicas de alguns desses horizontes são apresentadas no Capítulo 13 desse Guia de Campo.

O perfil AM-01, classificado como solo antrópico no 4º nível categórico, destacou-se por apresentar a maior SM entre todos os perfis analisados (Figura 15.4), especialmente no horizonte Au3 (Tabela 15.1), que também mostrou a maior CEa (Figura 15.5). Isso sugere uma intensa atividade humana, particularmente ligada ao uso frequente do fogo. A alta SM observada é um indicativo claro dessas atividades de queima, que alteraram os minerais magnéticos do solo, deixando uma assinatura duradoura e corroborando a hipótese de ocupação e manejo humano no local (Marmet et al., 1999).

Os perfis AM-02 (Latossolo Amarelo), PA-06 (Neossolo Quartzarênico), AM-08 (Plintossolo Argilúvico) e AM-12 (Gleissolo Háptico) apresentaram valores reduzidos de SM quando comparados aos demais perfis. Provavelmente, isso seja um reflexo de suas assembleias mineralógicas mostrarem, em maior parte, baixa presença de minerais ferri e paramagnéticos.

Os perfis AM-02, PA-05 e PA-07, classificados como Latossolos Amarelos com fração argila composta principalmente de caulinita, seguida de goethita (vide Capítulos 9 e 13), apresentam baixos teores de Fe_2O_3 . Apenas os quatro últimos horizontes do perfil PA-05 são

classificados como mesoférricos, com teores de Fe_2O_3 entre 80 g kg^{-1} e $<180 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 15.1).

Os perfis AM-09 (Espodossolo Humilúvico) e PA-17 (Organossolo Háplico) apresentaram valor zero para a análise de SM, o que indica a ausência ou baixa quantidade de minerais ferri e paramagnéticos. O AM-09 possui o predomínio, na sua composição mineral, de grãos de quartzo, que é um mineral diamagnético. Nesse perfil os teores de areia variaram entre 705 e 981 g kg^{-1} . O perfil PA-17 apresentou valores de SM iguais a zero em todos os horizontes. Isso é devido à sua composição mineral ser basicamente de minerais diamagnéticos e materiais orgânicos (vide Capítulo 13) e provavelmente de baixos teores de minerais ferri e paramagnéticos, típicos de ambientes desferificados (Maher, 1986).

No perfil AM-11 foram encontrados valores de SM significativamente mais elevados em seus horizontes do que no AM-12, o que pode estar associado a variações no material de origem e na composição mineralógica dos perfis. A alta SM do AM-11 pode ser explicada pela maior presença de minerais como esmectita e mica (vide Capítulo 13), que contêm ferro em sua estrutura e contribuem para o magnetismo, enquanto a baixa SM do AM-12 está relacionada à predominância de caulinita, um mineral pobre em ferro e com baixa contribuição magnética (Maher, 1986). Essa variação na composição mineralógica indica que é necessária uma análise mais profunda para se entender a origem e a evolução dos solos, bem como para se identificar características específicas relacionadas à SM. Essas diferenças, abordadas no Capítulo 13, reforçam a importância da caracterização mineralógica para a interpretação das propriedades magnéticas dos solos (Dearing et al., 1996).

A Figura 15.5 expõe os resultados da CEa para os 17 perfis avaliados, utilizando-se gráficos *box plot* que destacam as variações entre as diferentes classes de solo e a variação entre os horizontes (tamanho do *box*). Observa-se que os perfis AM-02, PA-05, PA-06 e PA-07, classificados como Latossolos Amarelos e Neossolo Quartzarênico (PA-06), apresentam valores medianos de CEa, com variabilidade moderada entre os horizontes.

O perfil AM-01 (Argissolo Amarelo) exibe uma amplitude maior nos valores de CEa e apresenta os valores mais elevados, alcançando até 6 S m^{-1} . Esse comportamento sugere uma heterogeneidade na composição mineralógica e mineral ao longo dos horizontes, o que está associado a diferentes composições mineralógicas (ver discussão acima da SM) e variações granulométricas (Tabela 15.1).

Os perfis AM-07 (Cambissolo Flúvico), AM-06, AM-11, AM-15 e AM-16 (Gleissolos Háplicos) mostram uma distribuição mais estreita dos valores de CEa, refletindo a predominância de minerais como o quartzo, o qual influencia na baixa condutividade. Perfis como AM-05, PA-13 (Gleissolos Háplicos), AM-08 (Plintossolo Argilúvico), PA-14 (Vertissolo Hidromórfico) e PA-17 (Organossolo Háplico) também exibem variações restritas, indicando uma composição mais homogênea ao longo dos horizontes.

Esses resultados demonstram que a CEa pode variar significativamente entre as diferentes classes de solos, sendo fortemente influenciada pela mineralogia e textura. Isso evidencia a importância de tais características na interpretação das propriedades físicas e químicas dos solos avaliados.

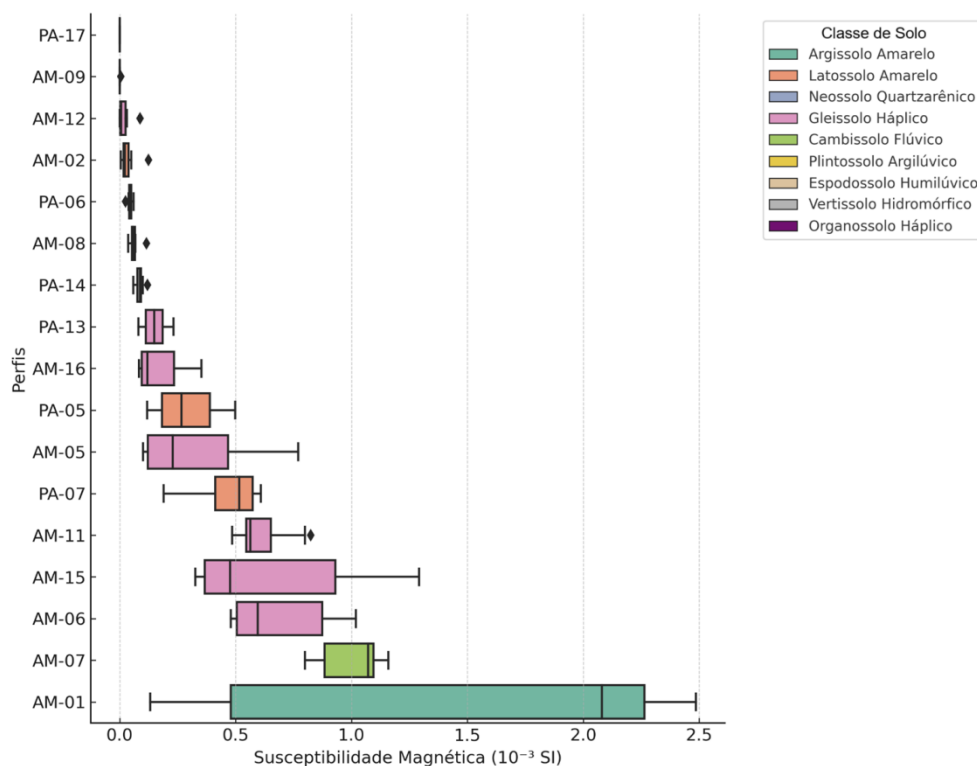
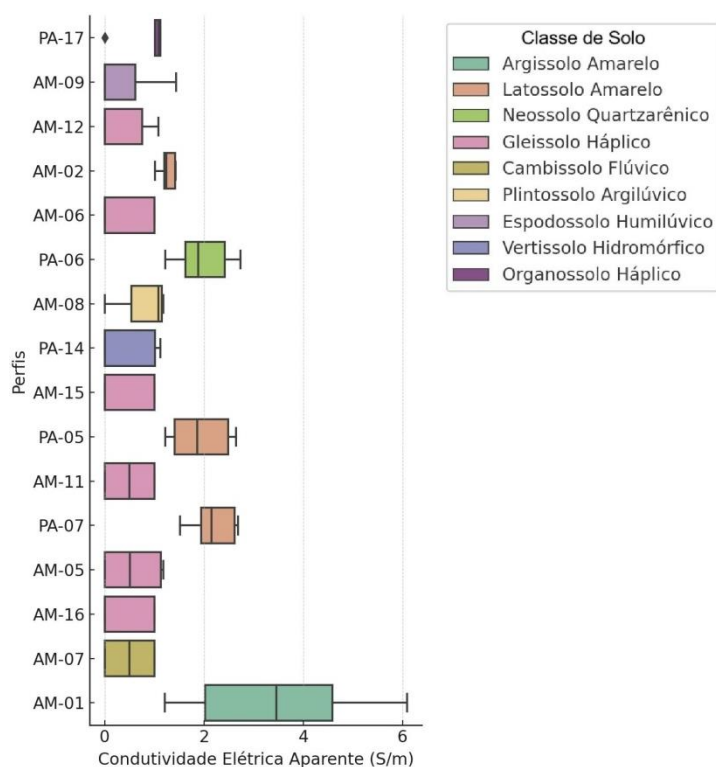


Figura 15.4. Gráficos *box plot* com dados médios dos valores de susceptibilidade magnética (SM), com o KT 20 S/C de amostras de solos da XV RCC. Perfis AM-01: Argissolo Amarelo; AM-07: Cambissolo Flúvico; AM-09: Espodossolo Humilúvico; AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13: Gleissolos Háplicos; AM-02, PA-05 e PA-07: Latossolos Amarelos; PA-06: Neossolo Quartzarênico; PA-17: Organossolo Háplico; AM-08: Plintossolo Argilúvico; PA-14: Vertissolo Hidromórfico.

Figura 15.5. Gráficos *box plot* com dados médios dos valores de condutividade elétrica aparente (CEa) de amostras de solos da XV RCC. Perfis AM-01: Argissolo Amarelo; AM-07: Cambissolo Flúvico; AM-09: Espodossolo Humilúvico; AM-05, AM-06, AM-11, AM-12, AM-15, AM-16 e PA-13: Gleissolos Háplicos; AM-02, PA-05 e PA-07: Latossolos Amarelos; PA-06: Neossolo Quartzarênico; PA-17: Organossolo Háplico; AM-08: Plintossolo Argilúvico; PA-14: Vertissolo Hidromórfico.



O correlograma entre os valores da SM e da CEa com os teores de argila, areia, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , além do valor T das amostras analisadas, é apresentado na Figura 15.6. Ao contrário do que se observa em alguns estudos (Teixeira et al., 2020, 2023), a correlação linear de Pearson entre a SM e a CEa neste estudo foi de apenas 0,10, indicando uma relação muito fraca entre esses parâmetros.

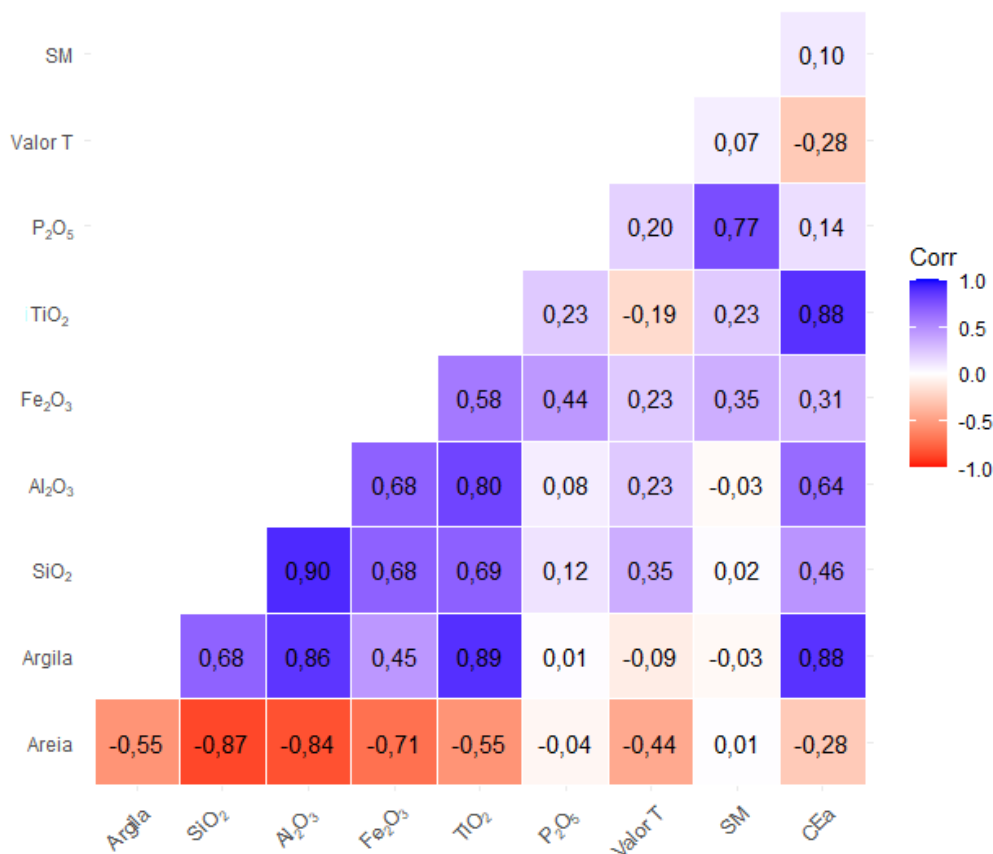


Figura 15.6. Matriz de correlação entre a susceptibilidade magnética (SM), condutividade elétrica aparente (CEa) e alguns atributos físicos e químicos dos solos da XV RCC.

A correlação da CEa com os teores de Fe_2O_3 foi de 0,31, denotando uma associação moderada, enquanto a correlação com os teores de TiO_2 e com a argila foi de 0,88, o que sugere uma alta associação. Ademais, a SM apresentou correlações de 0,35 com Fe_2O_3 , de 0,23 com TiO_2 e de -0,03 com argila, evidenciando uma relação moderada com os teores de Fe_2O_3 , moderada com teores de TiO_2 e muito baixa com os teores de argila.

Embora exista uma correlação entre os valores da SM e os teores de Fe_2O_3 , essa relação é relativamente fraca quando comparada a outras localidades. Por exemplo, os solos estudados por Silva et al. (2010) no Paraná apresentaram uma alta correlação entre o teor de Fe_2O_3 e a SM (0,92), o que refletiu a influência de minerais paramagnéticos, como hematita e goethita. Em contraste, na XV RCC, a correlação entre SM e Fe_2O_3 foi mais baixa (0,35), sugerindo que outros fatores, como a presença de minerais ferrimagnéticos e a ação de atividades humanas, podem ter um papel mais relevante na magnetização dos solos.

Os teores de areia denotaram uma correlação praticamente nula com a SM (0,01) e negativa com a CEa (-0,28), sugerindo que a fração areia, composta principalmente de quartzo, não contribui significativamente para esses parâmetros. Isso reforça a ideia de que o quartzo é diamagnético e, portanto, não influencia a susceptibilidade magnética nem a condutividade elétrica aparente de forma significativa.

A análise também revelou que a correlação entre os teores de Fe_2O_3 e a SM não é linear e direta, uma vez que outros fatores, como a mineralogia e os compostos químicos presentes, afetam os valores de SM. Por exemplo, a maior correlação da SM foi com os teores de P_2O_5 (0,77). Isso se deve à presença de minerais que contêm fósforo e também possuem propriedades magnéticas, como a apatita. Essa alta correlação pode indicar atividades antrópicas na região estudada, uma vez que o fósforo é frequentemente encontrado em ossos e conchas, que são restos de atividades humanas e animais. Assim, os dados sugerem não apenas uma relação mineralógica, mas também a influência de práticas humanas na composição do solo e na sedimentação local.

No sul do Amazonas, no município de Canutama, em áreas com Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (ou Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico) sob diferentes cultivos (guaraná, cupuaçu e urucum), foi observado que, embora os valores de SM permanecessem baixos tanto em solos naturais quanto cultivados, os perfis de solos cultivados apresentaram redução da SM com a profundidade, enquanto nos solos sob floresta essa propriedade aumentava. Essa variação sugere a influência das atividades antrópicas na alteração das propriedades magnéticas do solo, além do aporte de carbono orgânico nas áreas cultivadas (Brito et al., 2024). Foi observado também nos resultados obtidos nos perfis de solo da XV RCC, principalmente nos solos com horizonte A antrópico, padrões diferenciados de SM em profundidade e relacionados com atributos químicos e mineralógicos.

Essas correlações indicam que, embora haja uma certa relação entre SM, CEa e os teores de alguns óxidos metálicos, essa relação é complexa e influenciada por múltiplos fatores, como a composição mineralógica e a granulometria dos solos estudados.

4. Conclusões

A SM e a CEa, quando avaliadas em amostras de TFSA, são técnicas não destrutivas que podem indicar a presença de minerais ferri e paramagnéticos. A SM, em particular, mostrou-se sensível à presença de minerais magnéticos, como magnetita e maghemita, além de refletir alterações antrópicas, provavelmente causadas pelo fenômeno da termoremanência.

Não foi observada uma correlação linear direta entre os teores de ferro total no solo e os valores de SM e CEa, o que evidencia a complexidade dos fatores que influenciam essas medições, como a composição mineralógica, a granulometria e a presença de minerais ferrimagnéticos e paramagnéticos. Ainda assim, a SM apresenta grande potencial como ferramenta de caracterização expedita de solos, pois demonstrou ser sensível às alterações provocadas por atividades antrópicas, como o cultivo e o uso do fogo, refletindo modificações tanto nas camadas superficiais quanto em profundidade do solo.

As diferenças nos valores de SM permitem rapidamente detectar alterações na assembleia, nos teores ou no tamanho dos grãos minerais. Essas diferenças ressaltam a importância de se padronizar as medições de SM e CEa e de se expandir a base de dados nacionais para permitir melhores comparações e aplicações práticas e o uso da SM no mapeamento de solos e na identificação de sítios arqueológicos com horizontes antrópicos.

Dessa forma, a aplicação conjunta de SM e CEa não apenas contribui para a identificação de horizontes antrópicos, mas também para o monitoramento da qualidade do solo em áreas de uso agrícola contínuo, ampliando sua aplicabilidade em estratégias de manejo e conservação.

5. Recomendações

Esses resultados reforçam a necessidade de se considerar a espacialidade dos dados na interpretação de medições de SM e CEa. O mapeamento da SM e da CEa, aliado a técnicas de geoestatística, pode ser uma ferramenta eficaz para delimitação de horizontes antrópicos e para o planejamento de zonas de manejo específico, sobretudo em áreas tropicais com histórico de uso agrícola.

É importante padronizar a forma de avaliar e medir a SM e CEa dos solos do Brasil. Nas avaliações realizadas com amostras deformadas (TFSA), deve-se incluir as estimativas da densidade da TFSA onde foram feitas as análises ou os valores de densidade do solo quando as avaliações são feitas *in situ*.

Para isso, é fundamental que pesquisadores e instituições em todo o País trabalhem em conjunto na padronização desse parâmetro. Um banco de dados de valores de susceptibilidade magnética dos solos do Brasil está disponível para repositório de novas avaliações e para consultas na plataforma Redape (Base de Dados - Susceptibilidade Magnética dos Solos do Brasil (BD_SM_BR) - <https://doi.org/10.48432/KHSFO9>).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Finep/CT-Agro/FNDCT (Convênio 01.22.0081.00, Ref. 1218/21) para o projeto PronaSolos: Rede para o avanço científico e tecnológico aplicado às múltiplas funcionalidades do solo para o desenvolvimento agroambiental do Brasil.

O pesquisador Wenceslau Geraldes Teixeira agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) a bolsa de Produtividade em Pesquisa - nível 2.

Agradecemos ao bolsista Cauê da Silva dos Santos, aluno do curso de graduação em Engenharia Eletrônica no Cefet/RJ, que colaborou com a realização das análises da SM e da CEa, durante seu período de treinamento no Laboratório de Avaliação e Modelagem da Água no Solo (LAMAS – Embrapa Solos).

Referências

- ANAND, R. R.; GILKES, R. J. Iron oxides in lateritic soils from Western Australia. **Journal of Soil Science**, v. 38, n. 4, p. 607-622, Dec. 1987. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1987.tb02158.x>.
- ARROYO-KALIN, M. The Amazonian formative: crop domestication and anthropogenic soils. **Diversity**, v. 2, n. 4, p. 473-504, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3390/d2040473>.
- BANDEIRA, A. M.; IKEOKA, R. A.; APPOLINI, C. R.; TEIXEIRA, W. G. Caracterização de um perfil de solo e de cerâmicas arqueológicas do Sambaqui de Panaquatira, município de São José de Ribamar, MA. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 5.
- BATJES, N. H.; RIBEIRO, E.; VAN OOSTRUM, A. Standardised soil profile data to support global mapping and modelling (WoSIS snapshot 2019). **Earth System Science Data**, v. 12, n. 1, p. 299-320, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-12-299-2020>.
- BRITO, W. B. M.; CAMPOS, M. C. C.; M.; SOUZA, F. G. de; SILVA, L. S.; LIMA, H. N.; LIMA, A. F. L. de; CUNHA, J. M. da. Magnetic susceptibility and properties of Alisols under forest and crops in south Amazonas. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 144, art. 105023, Sept. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2024.105023>.
- CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1/3, p. 11-43, Mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.10.005>.
- CURI, N.; FRANZMEIER, D. P. Effect of parent rocks on chemical and mineralogical properties of some Oxisols in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 51, n. 1, p. 153-158, Jan./Feb. 1987. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100010033x>.
- DEARING, J. A.; HAY, K. L.; BABAN, S. M.; HUDDLESTON, A. S.; WELLINGTON, E. M.; LOVELAND, P. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. **Geophysical Journal International**, v. 127, n. 3, p. 728-734, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb04051.x>.
- FABRIS, J. D.; COEY, J. M. D.; MUSSEL, W. da N. Magnetic soils from mafic lithodomains in Brazil. **Hyperfine Interactions**, v. 113, n. 1/4, p. 249-258, Aug. 1998. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1012679801308>.
- FASSBINDER, J. W. E.; STANJEKT, H.; VALI, H. Occurrence of magnetic bacteria in soil. **Nature**, v. 343, n. 6254, p. 161-163, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1038/343161a0>.
- FILLA, V. A.; COELHO, A. P.; FERRONI, A. D.; BAHIA, A. S. R. de S.; MARQUES JÚNIOR, J. Estimation of clay content by magnetic susceptibility in tropical soils using linear and nonlinear models. **Geoderma**, v. 403, art. 115371, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115371>.
- FONTES, M. P. F.; OLIVEIRA, T. S. de; COSTA, L. M. da; CAMPOS, A. A. G. Magnetic separation and evaluation of magnetization of Brazilian soils from different parent materials. **Geoderma**, v. 96, n. 1/2, p. 81-99, May 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00005-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00005-7).
- FRIEDMAN, S. P. Soil properties influencing apparent electrical conductivity: a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1-3, p. 45-70, Mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2004.11.001>.
- LIMA, P. H. A.; LAMARÃO, C. N.; SANTOS, M. J. P. Petrográfica, geoquímica e susceptibilidade magnética do Granito Paleoproterozoico São João, sudeste do Cráton Amazônico, Província Carajás. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, DF, v. 9, n. 1, p. 47-72, jan./abr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v9i1.537>.

LOMBARDO, U.; ARROYO-KALIN, M.; SCHMIDT, M.; HUISMAN, H.; LIMA, H. P.; MORAES, M. de P.; NEVES, E. G.; CLEMENT, C. R.; FONSECA, J. A. da; ALMEIDA, F. O. de; ALHO, C. F. B. V.; RAMSEY, C. B.; BROWN, G. G.; CAVALLINI, M. S.; COSTA, M. L. da; CUNHA, L.; ANJOS, L. H. C. dos; DENEVAN, W. M.; FAUSTO, C.; CAROMANO, C. F.; FONTANA, A.; FRANCHETTO, B.; GLASER, B.; HECKENBERGER, M. J.; HECHT, S.; HONORATO, V.; JAROSCH, K. A.; JUNQUEIRA, A. B.; KATER, T.; TAMANAHA, E. K.; KUYPER, T. W.; LEHMANN, J.; MADELLA, M.; MAEZUMI, S. Y.; CASCON, L. M.; MAYLE, F. E.; MCKEY, D.; MORAES, B.; MORCOTE-RÍOS, G.; BARBOSA, C. A. P.; MAGALHÃES, M. P.; PRESTES-CARNEIRO, G.; PUGLIESE, F.; PUPIM, F. N.; RACZKA, M. F.; PY-DANIEL, A. R.; ROCHA, B. C. da; RODRIGUES, L.; ROSTAIN, S.; MACEDO, R. S.; SHOCK, M. P.; SPRAFKE, T.; BASSI, F. S.; VALLE, R.; VIDAL-TORRADO, P.; VILLAGRÁN, X. S.; WATLING, J.; WEBER, S. L.; TEIXEIRA, W. G. Evidence confirms an anthropic origin of Amazonian Dark Earths. **Nature Communications**, v. 13, n. 3444, 2022. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1144138/1/NatureCommunications-2022-EvidenceConfirmAmazonDarkEarths.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

MACEDO, R. S. **Pedogênese e indicadores pedoarqueológicos em terra preta de índio no município de Iranduba - AM**. 2014. 184 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2014.tde-14042014-164952>.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; CORRÊA, M. M.; MARTINS, G. C.; VIDAL-TORRADO, P. Pedogenetic processes in anthrosols with pretic Horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. **Plos One**, v. 12, n. 5, e0178038, May 2017. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1070480/1/2017008.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2025.

MAHER, B. A. Characterisation of soils by mineral magnetic measurements. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, v. 42, n. 1/2, p. 76-92, 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9201\(86\)80010-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9201(86)80010-3).

MANSUR, K. L.; TEIXEIRA, W. G.; GONÇALVES, A. O.; SHINZATO, E. Avaliação da susceptibilidade magnética no sambaqui Fazenda Campos Novos - Cabo Frio - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATRIMÔNIO GEOLÓGICO, 3., 2015, Lençóis. **Anais [...]**. Lençóis: UEFS, 2015. p. 571-574. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131267/1/2015-053.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.

MARMET, E.; BINA, M.; FEDOROFF, N.; TABBAGH, A. Relationships between human activity and the magnetic properties of soils: a case study in the medieval site of Roissyen France. **Archaeological Prospection**, v. 6, n. 3, p. 161-170, Sept. 1999.

DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0763\(199909\)6:3%3C161::AID-ARP118%3E3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0763(199909)6:3%3C161::AID-ARP118%3E3.0.CO;2-H).

MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; CAMARGO, L. A.; TEIXEIRA, D. 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**, v. 219/220, p. 63-71, May 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.007>.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 90-101, jan./fev. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000100009>.

MULLINS, C. E. Magnetic susceptibility of the soil and its significance in soil science: a review. **Journal of Soil Science**, v. 28, n. 2, p. 223-246, June 1977. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02232.x>.

OLIVEIRA, I. A. de; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E. de; FREITAS, L. de; SIQUEIRA, D. S.; CUNHA, J. M. da. Variabilidade espacial e densidade amostral da suscetibilidade magnética e dos atributos de Argissolos da Região de Manicoré, AM. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p. 668-681, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140496>.

RAMOS, P. V.; DALMOLIN, R. S. D.; MARQUES JÚNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; ALMEIDA, J. A. de; MOURA-BUENO, J. M. Magnetic susceptibility of soil to differentiate soil environments in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0160189, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20160189>.

RESENDE, M.; ALLAN, J.; COEY, J. M. D. The magnetic soils of Brazil. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 78, n. 2/3, p. 322-326, June 1986. DOI: [https://doi.org/10.1016/0012-821X\(86\)90071-3](https://doi.org/10.1016/0012-821X(86)90071-3).

- RESENDE, M.; SANTANA, D. P.; FRANZMEIER, D. P.; COEY, J. M. D. Magnetic properties of Brazilian Oxisols. In: INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP, 8., 1986, Rio de Janeiro. **Classification, characterization and utilization of oxisols**: proceedings. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS: USDA-SMSS: University of Puerto Rico, 1988. p. 78-108.
Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/217556/1/Eight-International-Soil-Classification-Workshop-1986-pt-1.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- SANTOS, L. A. C. dos; PEDRON, F. de A.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; SILVA, L. S.; CAMPOS, M. C. C.; ARAUJO, J. K. S. Magnetic and spectral signature of anthropogenic and non-anthropogenic soils to identify pedogenetic processes in Amazonia, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 32, e00622, 2023.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2024.
- SILVA, A. R. da; SOUZA JUNIOR, I. G. de; COSTA, A. C. S. da. Suscetibilidade magnética do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 329-337, abr. 2010.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200006>.
- SILVA JUNIOR, J. F. da; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. D. B.; PANOSSO, A. R.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. Multivariate split moving windows and magnetic susceptibility for locating soil boundaries of São Paulo, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 26, e00418. Sept. 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00418>.
- SILVERO, N. E. Q.; SIQUEIRA, D. S.; COELHO, R. M.; FERREIRA JÚNIOR, D. da C.; MARQUES JÚNIOR, J. Protocol for the use of legacy data and magnetic signature on soil mapping of São Paulo Central West, Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 693, 133463, Nov. 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.269>.
- SINGER, M. J.; VEROSUB, K. L.; FINE, P.; TENPAS, J. A conceptual model for the enhancement of magnetic susceptibility in soils. **Quaternary International**, v. 34/36, p. 243-248, 1996.
DOI: [https://doi.org/10.1016/1040-3182\(95\)00089-5](https://doi.org/10.1016/1040-3182(95)00089-5).
- SÖDERSTRÖM, M.; ERIKSSON, J.; ISENDAHL, C.; SCHAAN, D. P.; STENBORG, P.; REBELLATO, L.; PIIKKI, K. Sensor mapping of Amazonian Dark Earths in deforested croplands. **Geoderma**, v. 281, p. 58-38, Nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.06.024>.
- SOUSA, D.V. de; RODET, M. J.; DUARTE-TALIM, D.; TEIXEIRA, W. G.; PROUS, A.; VASCONCELOS, B. N.; PEREIRA, E. Linking anthropogenic burning activities to magnetic susceptibility: studies at Brazilian archaeological sites. **Geoarchaeology**, v. 38, n. 1, p. 89-108, Jan./Feb. 2022.
DOI: <https://doi.org/10.1002/gea.21941>.
- SOUSA, D. V. de; KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. R.; RODET, M. J.; GUIMARÃES, L. M.; FELIX, J. F. Magnetite originating from bonfires in a Brazilian prehistoric Anthrosol: a micro-Raman approach. **Catena**, v. 171, p. 552-564, Dec. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.036>.
- SOUSA, D. V.; KER, J. C.; RODET, M. J.; SCHAEFER, C. E. G. R.; TEIXEIRA, W. G. Pedoarqueologia em abrigo quartzítico, Sítio Bibocas II, Jequitaiá, ocupação humana no Holoceno inicial na bacia do São Francisco. **Revista Teoria & Sociedade**, n. 23.1, p. 167-197, jan./jun. 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1034890/1/2015147.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2023.
- SOUZA, J. G.; ALCAINA-MATEOS, J.; LANCELOTTI, C.; VIDAL-TORRADO, P.; CALEGARI, M. R.; TEIXEIRA, W. G.; MARTINS, G.; MACEDO, R. S.; MADELLA, M. Spatial analysis of Amazonian Dark Earth formation supports an anthropic origin at the Caldeirão site, Brazil. **Journal of Archaeological Science**, v. 176, 106169, 2025. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1172924/1/Spatial-analysis-of-Amazonian-Dark-Earth-formation-2025.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2025.
- STERNBERG, R. Magnetic properties and archaeomagnetism. In: BROTHWELL, D. R.; POLLARD, A. M. (ed.). **Handbook of archaeological sciences**. Chichester: Wiley, 2001. p. 73-80.

TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (ed.). **As terras pretas de índio da Amazônia**: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Editora da Universidade Federal do Amazonas: Embrapa Amazônia Ocidental, 2010. 420 p.

TEIXEIRA, W. G.; LUMBRERAS, J. F.; CORDEIRO, F. R.; MAESTÁ, B. C.; CERNICCHIARO, G.; SHINZATO, E. Avaliação da susceptibilidade magnética e da condutividade elétrica aparente dos perfis da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC do Maranhão. In: SILVA, M. B. e; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de (ed.). **Guia de campo da XIII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC do Maranhão. Brasília, DF: Embrapa, 2020. E-book. cap. 11. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127220>. Acesso em: 12 ago. 2025.

TEIXEIRA, W. G.; LUMBRERAS, J. F.; NOGUEIRA, J. do N. P.; SHINZATO, E. A susceptibilidade magnética e a condutividade elétrica aparente em amostras de solos da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - RCC de Rondônia. In: LUMBRERAS, J. F.; SILVA, L. M. da; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; WADT, P. G. S.; PEREIRA, M. G.; DELARMELINDA-HONORÉ, E. A.; BURITY, K. T. (ed.). **Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Rondônia. Brasília, DF: Embrapa, 2019. E-book. cap. 9. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/203098/1/Guia-de-campo-da-XII-RCC-Rondonia.epub>. Acesso em: 19 jun. 2023.

TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. H. dos; PIMENTEL, L. G.; VALLE, L. G. de F.; LUMBRERAS, J. F.; CERNICCHIARO, G. R. C.; SHINZATO, E. Avaliação da susceptibilidade magnética e da condutividade elétrica aparente dos perfis da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos - RCC de Goiás e Tocantins. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Goiás e Tocantins. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. cap. 13.

TEIXEIRA, W. G.; SCHAAN, D. P.; SHINZATO, E.; BARBOSA, A. D.; REBELLATO, L.; WOODS, W. Feições geomorfológicas e solos nos locais em que foram construídos os geoglifos no estado do Acre - Brasil. In: ADAMY, A. (org.). **Geodiversidade do estado do Acre**. Porto Velho: CPRM, 2015. cap 13, p. 201-216. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/135134/1/2015-082.pdf>. Acesso em: 4 nov. 2020.

TEIXEIRA, W. G.; SHINZATO, E.; LUMBRERAS, J. F.; NOGUEIRA, J. do N. P. A susceptibilidade magnética e a condutividade elétrica aparente de amostras dos solos da XI Reunião de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Roraima). In: BATISTA, K. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, V. A. de; VALE JÚNIOR, J. F. do. (ed.). **Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos**: RCC de Roraima. Brasília, DF: Embrapa, 2018. E-book. cap. 8. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/195311/1/RCC-Z-12-032.epub>. Acesso em: 19 jun. 2023.

TERRAPLUS INC.; GEORADIS S.R.O. KT-10 v2: Magnetic susceptibility, conductivity and combined magnetic susceptibility / Conductivity meter: user's guide. Ver. 2.1. Richmond Hill: Terraplus Inc., 2021.

TERRAPLUS INC.; GEORADIS S.R.O. KT-20 Magnetic susceptibility & conductivity meter: user's guide. Versão 1.5. Canadá: Terraplus Inc., 2018. 150 p.

THOMPSON, R.; OLDFIELD, F. **Environmental magnetism**. London: Allen & Unwin Ltd, 1986.

WEAST, R. C.; ASTLE, M. J. (ed.). **CRC handbook of chemistry and physics**. 63rd ed. Boca Raton: CRC Press, 1983. 2381 p.