

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

GUSTAVO COSTA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DAS FRAÇÕES DA MATERIA ORGÂNICA
DO SOLO E SUA IMPORTÂNCIA NA PRODUTIVIDADE DA SOJA**

**Uberlândia – MG
Março – 2021**

GUSTAVO COSTA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DAS FRAÇÕES DA MATERIA ORGÂNICA
DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de
Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado

**Uberlândia – MG
Março – 2021**

GUSTAVO COSTA DA SILVA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DAS FRAÇÕES DA MATERIA ORGÂNICA
DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de
Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para
obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em 26 de março de 2021

Profa. Dra. Araújo Hulmann Batista
Membro da banca

Prof. Lísias Coelho, Ph.D.
Membro da banca

Prof. Dr. Sandro Manuel Carmelino Hurtado
Orientador

**Uberlândia – MG
Março – 2021**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecer a Deus pela vida, pelo dom do conhecimento e aprendizagem, pelas aberturas de portas e oportunidades, sempre me guiando para os melhores caminhos.

Aos meus pais, Leila e Lazaro pelo amor, paciência, dedicação, por sempre confiaram em mim, e por nunca medirem esforços para investir em minha carreira mesmo com todas as dificuldades. Ao meu irmão Gabriel que esteve presentes em atividades deste trabalho e aos meus avôs (em memória) e minhas avós.

Às amigadas da vida e às que construí durante minha graduação, que nunca negaram esforços para me ajudar.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela oportunidade de ingressar em um curso de renome e em especial aos professores do curso de Agronomia, pela qualidade de ensino.

Ao meu orientador Sandro Manuel Carmelino Hurtado, pela oportunidade de participar da criação do grupo de pesquisa em agricultura de precisão onde este trabalho foi desenvolvido e também pelo suporte técnico científico.

Aos colegas integrantes do grupo de pesquisa em agricultura de precisão, que contribuíram direta e indiretamente para este trabalho.

RESUMO

A produtividade é influenciada pelo manejo da matéria orgânica do solo (MOS). Isto justifica a pesquisa com ênfase nas frações ácido húmico (AH), ácido fúlvico (AF) e humina (HU) como indicadores do grau de humificação. O comportamento espacial dessas frações pode auxiliar o gerenciamento das lavouras via ferramentas de agricultura de precisão. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a correlação espacial entre as frações da MOS e atributos físicos do solo na produtividade da cultura da soja, em área sob sistema plantio direto (SPD) na região do Triângulo Mineiro. O estudo foi conduzido entre os meses de agosto de 2018 a julho de 2019, em área pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, cultivada com grãos sob sistema de plantio direto. Na área, de 25 hectares, foi instalada uma malha regular com 50 pontos espaçados 75 metros entre si. Nos pontos foram coletadas amostras de solo para avaliação da MOS, das frações AH, AF, HU e granulometria do solo. Nesses mesmos locais foi realizada a colheita de soja. O fracionamento das frações da matéria orgânica foi realizado pela metodologia de acidificação. A produtividade da cultura da soja e os atributos do solo foram avaliados pela estatística descritiva e geoestatística, com obtenção de mapas de isolinhas. Houve variabilidade espacial para os atributos de solo analisados e produtividade da soja. A fração AF, para os primeiros 0,10 m foi correlacionada com a produtividade, areia, MOS, CTC. Especialmente, os mapas das frações de ácido fúlvico e húmico apresentaram distribuição semelhante com os obtidos para MOS, CTC, areia total e produtividade. O teor de areia total e das frações de AF e AH, podem ser limitantes para produtividade para a cultura da soja.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Área de estudo com a localização dos 50 pontos georreferenciados;

Figura 2- Coleta da amostra de solo com trado e separação por profundidade, A: 0-0,05 m e B: 0,05-0,10 m;

Figura 3- Esquema do processo para fracionamento da MOS;

Figura 4- A: solução de AF e AH acidificada, B: sobrenadante de AF e corpo de fundo de AH após centrifugação, C: AF apto à retirada de alíquota para digestão;

Figura 5- Demarcação da parcela e colheita da área;

Figura 6- Trilha e retirada de impurezas do material em pós-colheita.

Figura 7- Mapas interpolados por krigagem para os atributos A: Produtividade, ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); B: MOS 0-0,20 m, ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); C: Capacidade de troca de cátions, (cmolc/dm^3); e D: Areia total, (%);

Figura 8- Mapas interpolados por krigagem para o atributo fração AF ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) nas profundidades A: 0-0,05 m, B: 0,05-0,10 m e C: 0-0,10 m;

Figura 9- Mapas interpolados por krigagem para o atributo fração AH ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) nas profundidades A: 0-0,05 m, B: 0,05-0,10 m e C: 0-0,10 m.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Análises estatísticas descritivas para os dados das frações de AF e AH da MOS;

Tabela 2- Análises estatísticas descritivas para os atributos do solo e produtividade.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF – Ácido Fúlvico

AH – Ácido Húmico

AP – Agricultura de precisão

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CTC – Capacidade de troca de cátions

CV – Coeficiente de variação

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

HU – Humina

MOS – Matéria Orgânica do Solo

V% – Saturação por bases

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1	Extração das frações húmicas	13
2.2	Colheita da soja	15
2.3	Análises estatísticas	16
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

1- INTRODUÇÃO

O setor agrícola tem se destacado pela sua participação no PIB nacional chegando a representar 21% no ano 2020 (CONAB, 2020). Estimativas apontam para uma maior participação desse setor, em parte devido ao aumento produtivo registrado para as culturas de grãos e fibras. De acordo com o levantamento de safras realizado pela CONAB (2020), na safra 2019/2020 foram registradas produções próximas de 258 milhões de toneladas de cereais, das quais 125 milhões de toneladas são representadas pela cultura da soja. A fonte destaca ainda que, os constantes incrementos produtivos levam ao melhor aproveitamento das áreas destinadas ao cultivo (63 milhões de hectares), representando hoje um terço das terras a serem trabalhadas, se comparada à área agrícola necessária para atingir os patamares produtivos de 1977 (188 milhões de hectares).

Como fatores responsáveis do sucesso agrícola há a constante especialização das atividades no campo, focada em produções sustentáveis aliadas à aumentos em rentabilidade. Cabe citar o manejo das lavouras com adoção do sistema plantio direto (SPD), pelo seu potencial de melhoria do solo por meio do acúmulo de carbono orgânico total (GUARESCHI et al., 2013) e proteção física da MOS, assim como, a sua contribuição no sequestro de carbono (SIQUEIRA, 2009).

A MOS é fonte de cargas elétricas para o solo. Em condições de solos tropicais altamente intemperizados, significa maior presença de cargas quando se compara ao disponibilizado pelas argilas caulinítas (RESENDE et al., 2014). Os benefícios no seu manejo representam, conjuntamente, maior aporte de nutrientes e água no solo, melhor estruturação do solo e manutenção da sua diversidade biológica (PERIN, 1998). Dada a importância da MOS para os sistemas agrícolas fica evidente que o seu manejo terá consequências na produtividade das culturas (SILVA et al., 2004).

Justifica-se dar ênfase ao estudo do comportamento das frações da MOS (QUEIROZ ROSSI et al., 2011), AH, AF e HU, indicadores valiosos do grau de humificação da MOS (NASCIMENTO et al., 2010). Trabalhos em condições de solos do Cerrado tem indicado humina como a fração da MOS mais abundante, enquanto, as frações AF e AH apresentam valores modificados pelo manejo e profundidade dos solos (SOUZA; MELO, 2003; FONTANA et al., 2006; RIBEIRO PASSOS et al., 2007). Por sua vez, os teores elevados de AH em camadas superficiais (0-0,05m) podem ser indicadores de solos com adequado manejo conservacionista (GAZOLLA et al., 2015).

O incremento na produtividade das culturas é dependente do manejo adotado na lavoura e pode ser melhor monitorado com o auxílio das técnicas de agricultura de precisão (CHERUBIN et al., 2015), sobretudo com relação à análise do comportamento espacial dos atributos do solo e planta (VIEIRA et al., 2000). A variabilidade espacial dos atributos dos solos pode ser relacionada com a produtividade das culturas (ROSA FILHO et al., 2009; MATTIONI et al., 2011) considerando os principais atributos físicos e químicos do solo (RODRIGUES et al., 2015), entre eles, o carbono orgânico total (WANG et al., 2010; MARCHETTI et al., 2012). (LEITE et al., 2015), verificaram a presença de comportamento espacial em frações do carbono orgânico total (COT) de solos degradados, com menor distribuição espacial para profundidades maiores a 0,05 m.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi determinar os teores da MOS e das suas frações ácido húmico e fúlvico e a sua relação espacial com a produtividade da cultura da soja.

2- MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi conduzido entre os meses de agosto de 2018 a julho de 2019, na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), localizada no município de Uberlândia/MG (18°53' S e 48°20' W), com altitude aproximada de 830 m. O talhão estudado conta com uma área de 25 hectares, relevo suave ondulado e solo classificado como Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018). O solo da área vem sendo manejado sob sequeiro em SPD há mais de sete anos, sendo cultivado na sucessão soja (primeira safra) e milho ou sorgo (segunda safra).

A metodologia consistiu em três etapas: 1) coleta a campo de amostras de solo e produtividade; 2) análises laboratoriais e 3) análises estatística e construção dos mapas de dependência espacial.

A retirada de amostras de solo e produtividade considerou a instalação de uma malha regular com dois pontos por hectare, com 50 pontos espaçados em média 75 m (Figura 1). A malha amostral foi definida com o auxílio do programa Qgis e a identificação dos pontos a campo com auxílio do GPS portátil Garmin E-Trex Vista. A amostragem de solo, em cada um dos pontos, consistiu na retirada de 10 sub amostras num raio de 5 m, para compor cada uma das 50 amostras compostas. As amostras de solo foram retiradas na profundidade 0-0,2m para análise química do solo e a 0-0,05 m; 0,05-0,10 m para obtenção dos teores das frações ácido húmico (AH) e ácido fúlvico (AF) (Figura 2).



Figura 1 – Área de estudo, com a localização dos 50 pontos georreferenciados.

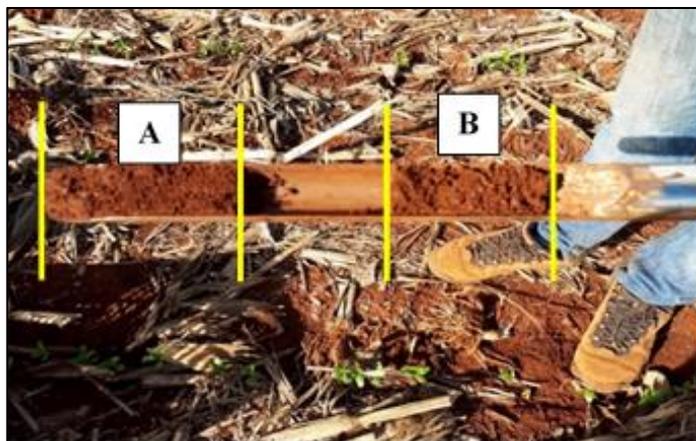


Figura 2 – Coleta da amostra de solo e separação nas profundidades, A: 0-0,05 m e B: 0,05-0,10 m. (Fonte: Silva, 2020).

As análises químicas seguiram a metodologia proposta por Raij et al., (2001) para a obtenção dos teores de MOS. Para o fracionamento da MOS em ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU) foi seguida a metodologia proposta por Benites et al. (2004). A análise das frações granulométricas seguiu metodologia proposta por Camargo et al. (2009). As amostras coletadas foram secas ao ar, passadas em peneira com abertura de 2 mm e na sequência, analisadas nos Laboratórios de Fertilidade do Solo, Pedologia e Física do Solo da Universidade Federal de Uberlândia.

2.1 Extração das frações húmicas

A extração das frações orgânicas se deu por meio de tratamentos ácidos e alcalinos, sendo possível extrair de maneira eficiente as três frações orgânicas (Figura 3). O AF e AH representam a fração solúvel em meio alcalino (Figura 4), facilmente separáveis da fração de HU.

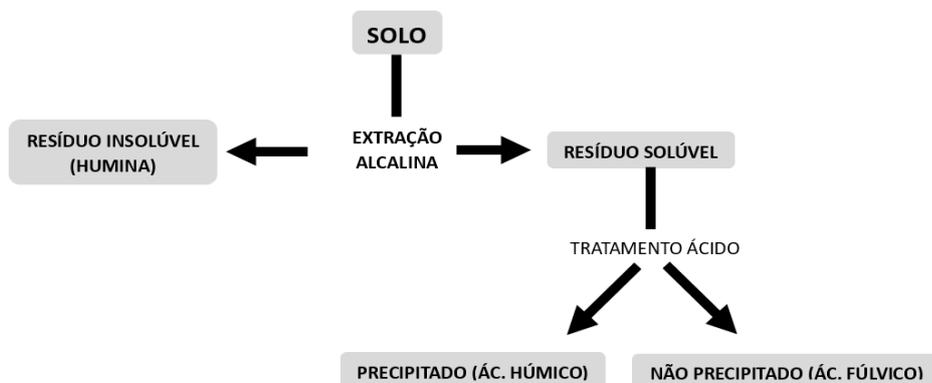


Figura 3 – Esquema de processos para fracionamento da MOS (Fonte: Silva, 2020).

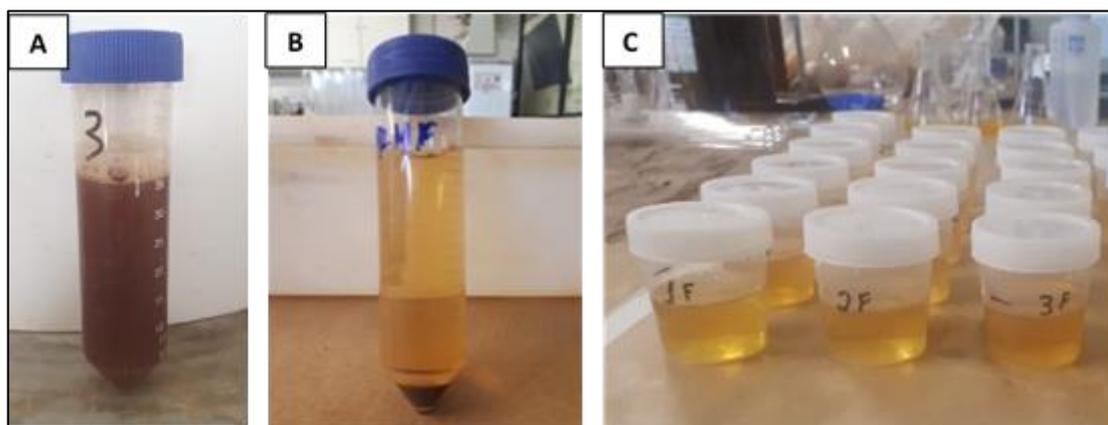


Figura 4 – A: solução de AF e AH acidificada, B: sobrenadante de AF e corpo de fundo de AH após centrifugação, C: AF apto à retirada de alíquota para digestão.

Depois de realizada a extração foi necessário realizar a quantificação dessas frações, por meio da digestão em ácido sulfúrico e dicromato de potássio, com soluções ajustadas para o teor de carbono em cada uma das amostras. Para isso foi realizada a titulação da quantidade de Dicromato de Potássio restante após a digestão, com a solução de Sulfato Ferroso Amoniacal e indicador Ferroin, e estimado finalmente, o teor de carbono da amostra por meio de equações para a identificação da concentração de HU, como segue:

$$C_{\text{org}} = \frac{\left[\frac{(V_{\text{ba}} - V_{\text{a}}) \cdot (V_{\text{bs}} - V_{\text{ba}})}{V_{\text{bs}}} + (V_{\text{ba}} - V_{\text{a}}) \right] \cdot 3 \cdot M_{\text{SFA}}}{m}$$

Onde:

V_{ba} – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL.

V_{a} – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL.

V_{bs} – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco sem aquecimento, em mL.

M_{SFA} – concentração da solução do sulfato ferroso amoniacal, em mol L⁻¹.

m – massa da amostra de precipitado (humina), em g.

Para a obtenção da concentração de AF e AH;

$$C_{\text{org}} = \frac{\left[\frac{(V_{\text{ba}} - V_{\text{a}}) \cdot (V_{\text{bs}} - V_{\text{ba}})}{V_{\text{bs}}} + (V_{\text{ba}} - V_{\text{a}}) \right] \cdot 3 \cdot M_{\text{SFA}} \cdot \left(\frac{50}{V_{\text{e}}} \right)}{m}$$

Onde:

C_{org} – concentração de carbono orgânico nas frações, em g kg⁻¹.

V_{ba} – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco aquecido, em mL.

V_{a} – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação da amostra, em mL.

V_{bs} – volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na titulação do branco sem aquecimento, em mL.

M_{SFA} – concentração da solução do sulfato ferroso amoniacal, em mol L⁻¹.

V_{e} – volume da alíquota do extrato, em mL.

m – massa da amostra de solo inicial, em g.

2.2- Colheita e estimativa de produtividade de soja

A obtenção da produtividade da soja considerou uma parcela útil de 4m² (2 m lineares para cada uma das quatro linhas espaçadas de 0,5 m) (Figura 5).



Figura 5 - Demarcação e colheita da parcela experimental de soja.

O método utilizado para efetuar a colheita foi o arranquio manual. Depois de colhidas, as amostras foram trilhadas e separadas as impurezas (Figura 6). A umidade dos grãos, obtida com o auxílio do medidor G800, e a determinação da massa dos grãos foram realizadas no Laboratório de Análise de Sementes (LASEM-UFU).



Figura 6 - Trilha e retirada de impurezas do material em pós-colheita.

Finalmente, a produtividade final foi corrigida para 13% de umidade a partir da equação:

$$PF = \frac{PI(100-UI)}{100-UD}$$

Onde:

PF - Peso final corrigido a 13% de umidade

PI - Peso inicial na umidade real

UI - Umidade inicial (real do grão)

UD - Umidade Desejada (13%)

2.3. Análises estatísticas

De posse dos dados laboratoriais, realizou-se análises estatísticas descritivas para obtenção de valores mínimo, máximo, amplitude, média, coeficiente de variação e correlação linear de Pearson para os atributos, por meio do programa Statistica (STATSOFT, 2004). Posteriormente, foi verificada a presença de comportamento espacial nos dados, a partir da análise de semivariogramas e krigagem (VIEIRA, 2000), e obtenção de mapas de isolinhas com auxílio do software Surfer (2011).

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em auxílio a análise estatística, os valores para a profundidade 0-0,10 m foram obtidos a partir da média ponderada das profundidades 0-0,05 m e 0,05-0,10 m. Na fração de AF os menores valores foram ($0,97 \text{ g.kg}^{-1}$) e maiores valores ($2,66 \text{ g.kg}^{-1}$), encontrados para as profundidades de 0-0,05 m e 0,05-0,10 m, respectivamente (Tabela 1). Lima et al., (2008) trabalhando em áreas sob SPD encontraram as maiores médias de AF na profundidade de 0,05 m. Para fração AH os menores valores foram de ($0,62 \text{ g.kg}^{-1}$) e maiores de ($2,87 \text{ g.kg}^{-1}$) ambos na profundidade de 0-0,05 m. A maior concentração de AF em relação ao AH demonstra uma característica do SPD, que reflete a alta atividade microbiológica próxima a superfície em função dos restos vegetais das culturas (CUNHA, 2015). Por sua vez, (Leite, 2015), ao analisar as frações da MOS em área degradada, encontraram teores de AF inferiores aos de AH. Em ambas frações o coeficiente de variação (CV) teve seus valores acrescidos conforme o aumento em profundidade. O maiores CV% (6,89) corresponderam à fração AF para a profundidade de 0 - 0,1 m, sendo classificado com baixo (<12%), de acordo com Warrick e Nielsen (1980).

Tabela 1- Análises estatísticas descritivas para os dados das frações ácido fúlvico e ácido húmico. Uberlândia. 2020.

Atributos	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	CV (%)
AF 0-0,05 m	0,97	2,62	1,64	1,86	5,90
AF 0,05-0,10 m	1,24	2,66	1,42	2,03	6,16
AF 0-0,10 m	1,32	2,39	1,08	1,94	6,89
AH 0-0,05 m	0,62	2,87	2,21	1,69	4,10
AH 0,05-0,10 m	0,78	2,39	1,61	1,66	4,55
AH 0-0,10 m	0,94	2,43	1,49	1,68	5,40

AF: fração ácido fúlvico (g.kg^{-1}); AH: fração ácido húmico (g.kg^{-1})

Os dados de produtividade permitem evidenciar heterogeneidade no campo de cultivo, ao apresentar amplitude de 2.817 kg ha^{-1} (Tabela 2). Esta variação corresponde a 63% da produtividade média de 4.506 kg ha^{-1} , superior à média regional de 3.676 kg ha^{-1} de acordo com levantamento realizado pela CONAB (2020).

Os atributos de solo e produtividade apresentaram CV% baixo (WARRICK e NIELSEN, 1980). Dentre os atributos, o teor de Areia total apresentou o menor CV% o que mostra uma maior homogeneidade na distribuição espacial deste atributo na área de estudo.

Tabela 2- Análises estatísticas descritivas para a produtividade de soja e atributos de solo areia total, matéria orgânica (MOS), capacidade de troca de cátions (CTC). Uberlândia. 2020.

Atributos	Unidade	Mínimo	Máximo	Amplitude	Média	CV (%)
Soja 17-18	kg.ha^{-1}	2.892	5.710	2.817	4.506	9,82
Areia total	g.kg^{-1}	374	710	336	531,92	5,71
MOS	g.kg^{-1}	1,7	2,8	1,1	2.34	9,55
CTC	$\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$	5,84	10,4	4,56	8,47	8,44

A análise de correlação entre as frações da MOS (AF e AH) e os atributos de solos e produtividade permitiu observar as maiores correlações para a fração AF com destaque para a profundidade de 0,05-0,10 m. Correlação entre as frações da MOS e a produtividade foi verificada somente para o AF nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0-0,10 m. Não foi observada correlação significativa o AH e os demais atributos do solo na profundidade de 0-0,05 m.

Os teores de areia total apresentaram correlação negativa com o AF ($r = -0,59$) e AH ($r = -0,37$) para a profundidade de 0,05 - 0,10 m. Essas frações estão sujeitas ao carreamento para camadas mais profundas, principalmente o AF em solos arenosos. Segundo Fontana et al. (2006), as frações AF e AH, por apresentarem uma maior solubilidade, podem ser translocadas para as camadas mais profundas, polimerizadas ou mineralizadas e seu teor residual diminuído em camadas superficiais.

Para melhor expressar a dependência espacial, os atributos avaliados foram ajustados à semivariogramas. O alcance representa a distância em que os pontos amostrais estão correlacionados entre si, ou seja, os pontos localizados numa área de raio igual ao alcance são mais homogêneos entre si. Neste estudo o alcance ficou entre 100 e 250 m. Através da interpolação e geração dos mapas (Figura 7, 8 e 9), é possível verificar um comportamento agregado (SCHAFFRATH, 2007), corroborando as informações observadas a partir da estatística descritiva. (Tabelas 1 e 2).

Para a produtividade, a heterogeneidade e a dependência espacial podem ser visualizadas na Figura 7A. A partir do mapa interpolado por krigagem é possível definir três regiões de produtividade, uma ao centro como sendo uma zona de transição entre a maior produtividade, na parte superior do mapa, e outra de menor, na parte inferior. Do mesmo modo, é possível observar padrão de comportamento espacial semelhante para MOS e CTC (Figuras 7B e 7C) e areia total (Figura 7D), este último apresentando relação inversa à produtividade ($r = -0,57$). Esta variação de produtividade está ligada aos atributos do solo, uma vez que o sistema de manejo, tratos culturais e cultivar são iguais em toda a área.

A identificação de regiões de menor produtividade permite realizar práticas de manejo do solo diferenciadas nas áreas de baixo, médio e alto potencial produtivo. Uma das vantagens dos mapas interpolados por krigagem é a exata localização das áreas de baixa produtividade (MONTANARI et al., 2012).

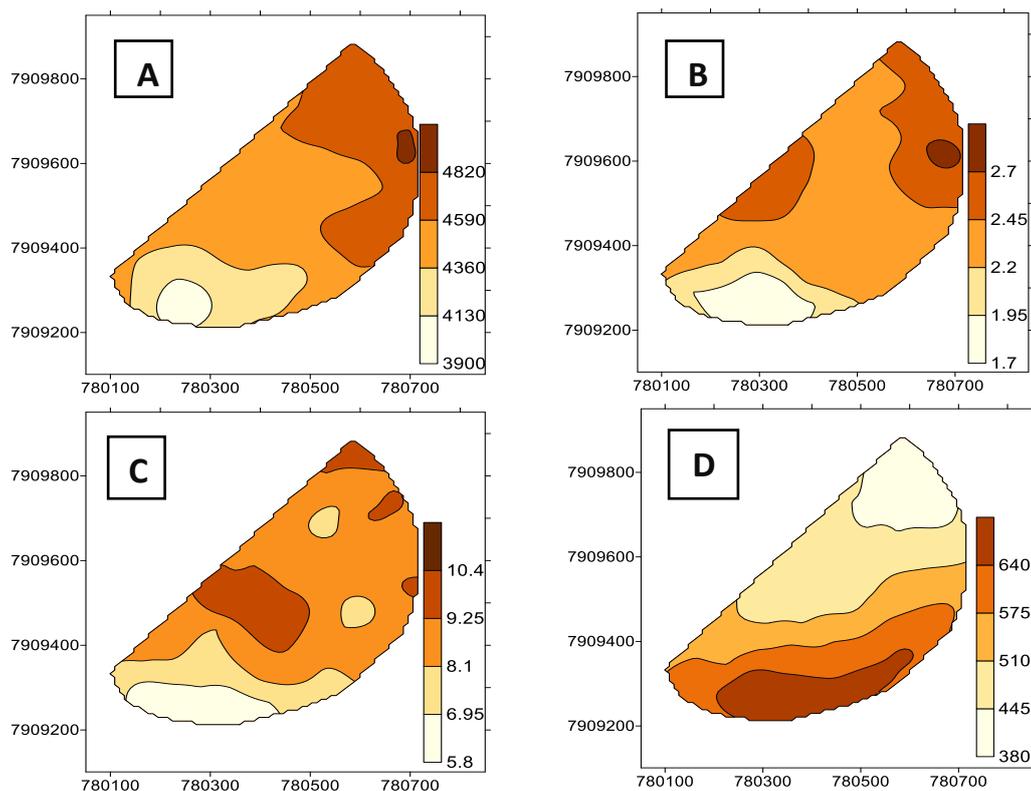


Figura 7 - Mapas interpolados por krigagem para: A: Produtividade ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$); B: MOS ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$); C: Capacidade de troca de cátions (cmolc/dm^3) e D: Areia total (%), na profundidade 0-0,2 m.

A dependência espacial da fração de AF foi observada em todas as profundidades avaliadas (Figura 8). Com base nos mapas é possível identificar duas regiões bem definidas, uma na parte inferior, com maior concentração e outra na parte superior dos mapas, com menor concentração. A maior correlação do AF entre a camada mais superficial e a de 0-0,10m ($r = 0,90$) deve-se à alta atividade microbológica nos restos vegetais do SPD próximo à superfície.

Ao se comparar os mapas das figuras 7 e 8 é possível corroborar as correlações encontradas entre o AF (0-0,10 m) e a produtividade ($r = 0,40$), MOS ($r = 0,71$) e CTC ($r = 0,54$). Correlações positivas e significativas entre a fração AF e MOS ($r=0,83$) e CTC ($r=0,63$) foram também descritas por Canellas et al. (2000). Pode-se constatar, ainda, que técnicas de manejo cultural que aportem maior MOS ao solo, e conseqüentemente AF, podem favorecer à CTC e elevar o potencial produtivo do solo.

Os óxidos de Fe e Al são considerados os minerais responsáveis pela sorção de C no solo, e podemos identificar tal comportamento com os mapas (Figura 7B, 7D), onde a presença de MOS e também das frações de AF e AH (Figura 8 e 9) é inversa ao teor de areia total. Nas

regiões onde se tem uma baixa concentração de argila e consequentemente destes óxidos que dão origem as cargas, a interação organomineral é pequena, já que a presença dos óxidos é o principal fenômeno de estabilização da MOS. Quando há uma pequena interação organomineral entre a argila e MOS, faz com que as frações AF e AH sejam solubilizadas e facilmente carregadas para camadas mais profundas do solo.

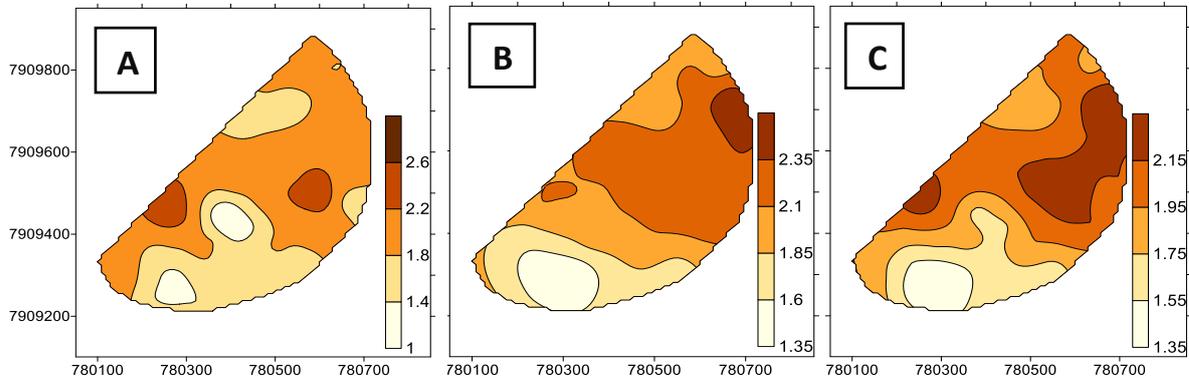


Figura 8 - Mapas interpolados por krigagem para o atributo fração AF (g.kg^{-1}) nas profundidades A: 0-0,05 m, B: 0,05-0,10 m e C: 0-0,10 m.

Dependência espacial foi também verificada para a fração AH nas três profundidades avaliadas (Figura 9). Aqui foi possível destacar que as menores concentrações coincidiram na parte sul do talhão e as maiores, na parte central. Considerando a profundidade de 0 - 0,10 m, as correlações foram altas para a profundidade de 0-0,05 m ($r = 0,71$) e 0,05-0,10m ($r = 0,68$), respectivamente. Para a mesma profundidade (0-0,10 m), a correlação entre ambas as frações da MOS foi de $r = 0,46$, superior ao $r = 0,37$ registrada por Canellas et al. (2000).

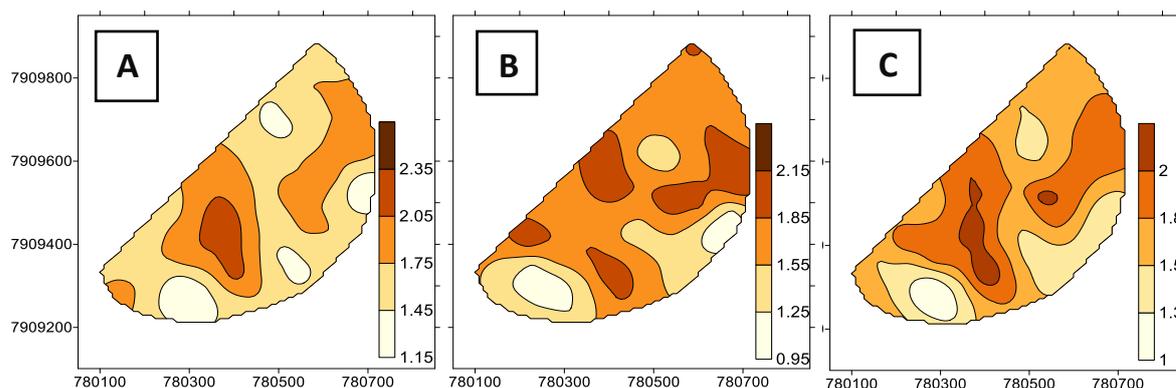


Figura 9 - Mapas interpolados por krigagem para o atributo fração AH (g.kg^{-1}) nas profundidades A: 0-0,05 m, B: 0,05-0,10 m e C: 0-0,10 m.

A produtividade depende de fatores ligados ao solo, como a disponibilidade de nutrientes, permeabilidade, umidade, salinidade, temperatura, disponibilidade de oxigênio e pH, e estes por sua vez, estão ligados à MOS (PROCHNOW e CANTARELLA, 2015). A fração AF e AH possuem CTC aproximada de 1400 e $500 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente, e a argilas do tipo 1:1, encontradas nos solos da região, $3-15 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (MEURER, 2012). Ou seja, mesmo em menores concentrações as frações de AF e AH apresentam forte influência na produtividade, o que corrobora os resultados observados no presente estudo (Figura 7A, 8 e 9). Similar comportamento é observado ao comparar os mapas de areia total e CTC, com distribuição espacial semelhante ao das frações AF e AH (Figura 7, 8 e 9). Canellas (2000) destaca ser inadequado utilizar valores fixos para estimar a contribuição da matéria orgânica na CTC dos solos, isto devido a CTC variar de acordo com o balanço de AF e AH.

Os atributos MOS, CTC e areia total são utilizados na tomada de decisão ao recomendar dosagens de adubação e calagem. Dada a presença de variabilidade desses atributos no talhão, a aplicação de fertilizantes e/ou corretivos poderá ser inferior à dosagem necessária, condizente com as necessidades ou excessiva. Nesse sentido, a variabilidade encontrada nos teores revela a preocupação em se utilizar a média dos valores quando verificada a necessidade de aprimorar o sistema de cultivo ou visando a manutenção da MOS, e conseqüentemente, das frações de AF e AH. Com a aplicação da agricultura de precisão, como a distribuição de fertilizantes e corretivos de solo com taxa variável é possível extrair ao máximo o potencial produtivo da área.

4- CONCLUSÃO

Há dependência espacial para as frações da MOS apresentando o ácido fúlvico uma maior continuidade espacial e correlação com a produtividade e os atributos MOS, CTC e areia total.

A região com menores teores das frações AF e AH e maiores concentrações de areia total é a que representa a menor produtividade da cultura da soja, fatores intimamente relacionados.

Solos arenosos naturalmente apresentam menor CTC, ao mesmo tempo que apresentam baixa quantidade de argilas, e que ao desfavorecer a estabilidade da MOS, são fatores que podem vir a ser limitantes para a produtividade da cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, PLO de A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. **Embrapa Solos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/337076/1/comtec162003extracao.pdf>. Acesso em: 10/01/2021.
- ALLEONI, L.R.F.; CAMBRI, M.A.; CAIRES, E.F. Atributos químicos de um Latossolo de cerrado sob plantio direto, de acordo com doses e formas de aplicação de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 6, p. 923-934, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000600010>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4BxdWwsWwvzgXtH56V3bKHM/?lang=pt>. Acesso em: 10/01/2021.
- CAMARGO, O. et al. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo. Campinas: **Instituto Agrônomo**, 94 p. (Boletim técnico, 106), 2009. Disponível em: <http://www.iac.agricultura.sp.gov.br/publicacoes/arquivos/iacbt106.pdf>. Acesso em: 10/01/2021.
- CANELLAS, L.P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 133-143, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000100016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/TXqbHPvgk8TY5Nf5RQNQ7cf/?lang=pt>. Acesso em: 12/01/2021.
- CHERUBIN, M.R. et al. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 168-177, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000200009>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/wtsHg7XP3xBD5XqVhtY7Gyp/?lang=pt>. Acesso em: 11/01/2021.
- CONAB (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO). Acompanhamento da safra Brasileira de grãos. v. 7 - **Safra 2019/2020** - n. 3 - Terceiro levantamento, dezembro de 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/grao>. Acesso em 04 abr. 2020. Acesso em: 05/02/2021.
- CUNHA, T.J.F.; MENDES, A.M.S; GIONGO, V. Matéria orgânica do solo. **Embrapa Semiárido**, cap. 9, p. 273-293, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1034986>. Acesso em: 05/02/2021.
- FONTANA, A. et al. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000500018>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/JkPbnTZqQH3dgyYwXS9mtmr/?lang=pt>. Acesso em: 11/02/2021

GAZOLLA, P.R. et al. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p693>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744147010.pdf>. Acesso em: 01/03/2021.

GUARESCHI, R.; PEREIRA, M.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Ciências Agrárias, Londrina**, v. 34, p. 2615-2628, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6p2615>. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744136007.pdf>. Acesso em: 10/02/2021.

LEITE, L. et al. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 394-401, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n4p394-401>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/MtgqxBj3RKWCc4pnPRHshSj/?lang=pt>. Acesso em: 12/02/2021.

LIMA, A.M.N. et al. Frações da matéria orgânica do solo após três décadas de cultivo de eucalipto no Vale do Rio Doce - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1053-1063, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4NcPg6G9QYwGDkYXhmxn4GM/?lang=pt>. Acesso em: 12/02/2021.

MARCHETTI, A. et al. Spatial Distribution of Soil Organic Matter Using Geostatistics: A Key Indicator to Assess Soil Degradation Status in Central Italy. **Pedosphere**, v. 22, p. 230–242, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(12\)60010-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(12)60010-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1002016012600101>. Acesso em: 10/01/2021.

MATTIONI, N.; SCHUCH, L.; VILLELA, F. Variabilidade espacial da produtividade e da qualidade das sementes de soja em um campo de produção. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p.608-615, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222011000400002>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/FyZWPKxGZxzVSGGqkQhMHkn/?lang=pt>. Acesso em: 12/01/2021.

MENEZES, K.R. et al. et al. Spatial variability in soil fertility and particle size and their effects on Sugarcane yield. **Sugar Tech**, v.18, p.39-48, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0359-5>. Acesso em: 01/02/2021.

MEURER, E. J. **Fundamentos da química do solo**. Ed. Porto Alegre: Evangraf, 5ªed. 280p. 2012.

MONTANARI, R.; SOUZA, G.S.A.; PEREIRA, G.T.; MARQUES JR.J.; SIQUEIRA, D.S.; SIQUEIRA, G. M. The use of scaled semivariograms to plan soil sampling in sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 35, n.5, p. 1-11, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9265-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-012-9265-6>. Acesso em: 15/02/2021.

NASCIMENTO, P.C. et al. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v. 34, 2010. DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200007>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/tpwC8BxS6YBg8mTCQjKXYFf/?lang=pt>. Acesso em:
15/01/2021.

PASSOS, R.R. et al. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 31, n. 5, p. 1119-1129, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500027>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/gyrThQPg6kfwCTgSgTSwKyp/?lang=pt>. Acesso em:
10/02/2021.

PERIN, A.; TEIXEIRA, M.; GUERRA, J. **Avaliação inicial de algumas leguminosas herbáceas perenes para utilização como cobertura viva permanente de solo**, 1998. Disponível em:
<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/623369/1/cot016.pdf>. Acesso em:
01/03/2021.

PROCHNOW, L.I.; CANTARELLA, H. **Manejo do solo visando o aumento da produtividade das culturas**, 2015. Disponível em:
[http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/695B0E5F7E612CC083257E7F004D4F41/\\$FILE/Page9-11-150.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/695B0E5F7E612CC083257E7F004D4F41/$FILE/Page9-11-150.pdf).
Acesso em: 12/02/2021

QUEIROZ ROSSI, C. et al. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300018>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/brag/a/4Xz8Mv6sYGGZ6CVgvJntqDWn/?lang=pt>. Acesso em:
20/02/2021.

RAIJ, B.V. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico, 285p., 2001. Disponível em:
http://www.iac.sp.gov.br/Publicacoes/arquivos/Raij_et_al_2001_Metod_Anal_IAC.pdf.
Acesso em: 20/02/2021.

RESENDE, M. et al. **Pedologia, base para distinção de ambientes**. 6ªed., Editora UFPA: Lavras. 2014.

ROSA FILHO, G. et al. Variabilidade da produtividade da soja em função de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 283-293, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000200006>. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/HSKvGFRHtzQJXwB3ggBJRr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12/02/2021.

SANTOS, H.G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: [file:///C:/Users/Lais%20Alves/Downloads/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Lais%20Alves/Downloads/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004%20(1).pdf). Acesso em: 15/01/2021.

SCHAFFRATH, V.R. et al. Variabilidade espacial de plantas daninhas em dois sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 53-60, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000100007>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/rBBNpV6kxhpTF38GxL7vhRq/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20/02/2021.

SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; SILVA, E.F. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **B. Inf. Soc. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p.10-20, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rp8brzwcZP4TY6xkmbrrz6d/?lang=pt>. Acesso em: 20/02/2021.

SIQUEIRA NETO, M. et al. Rotação de culturas no sistema plantio direto em Tibagi (PR). I-Sequestro de carbono no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 1013-1022, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400025>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/LKFmpFWn3Y4kbnTppYWh37N/?lang=pt>. Acesso em: 20/03/2021.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria orgânica em um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000600016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/KypqZNbjJhhBCm896yQSdpb/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12/02/2021.