

## MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO

Rafaelly Simionatto Pinheiro<sup>1\*</sup>, Deonir Secco<sup>1</sup> e Reinaldo Aparecido Bariccati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, Campus Cascavel, Rua Universitária, 2069, CEP 85819-110, Bairro Jardim Universitário, Cascavel, PR. \*E-mail: rafaellysimionatto@hotmail.com

*RESUMO: O objetivo desse trabalho é fazer uma revisão bibliográfica sobre a essencialidade da matéria orgânica no solo para o desenvolvimento e produtividade das culturas. A matéria orgânica do solo interfere nos parâmetros físicos, químicos e biológicos, assim representa aspecto de fundamental importância para uma boa produção agrícola. Através deste trabalho se constatou a importância de se manter o teor de matéria orgânica do solo acima de 3,5%, observando que valores abaixo disso o solo não consegue cumprir todas as funções necessárias do solo para com a planta como disponibilizar água, ar, temperatura, baixa resistência ao crescimento radicular e disponibilizar nutrientes. A matéria orgânica é também de grande importância para a resistência a compactação do solo, elevando sua elasticidade, recuperando mais facilmente eventuais deformações por compressão impostas pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas.*

*PALAVRAS-CHAVE: carbono orgânico; atributos físicos; rendimento de grãos.*

## ORGANIC MATTER IN SOIL

*ABSTRACT: The aim of this work is to make a review on the essentiality of organic matter in the soil for the development and productivity of crops. The soil organic matter interferes with the physical, chemical and biological parameters, and is aspect of fundamental importance to good agricultural production. Through this work it was found the importance of maintaining the content of soil organic matter above 3.5%, noting that values below that the soil can not fulfill all the necessary functions for the soil to the plant as available water, air, temperature, low resistance to root growth and provid nutrients. Organic matter is also of great importance for resistance to soil compaction, increasing its elasticity, recovering more easily possible deformations compression imposed by the traffic of agricultural machinery and implements.*

*KEY WORDS: organic carbon; physical attributes; grain yield.*

## INTRODUÇÃO

A matéria orgânica do solo interfere nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Seus teores e características, taxa de produção, alteração e decomposição de resíduos orgânicos são ligados a diferentes fatores como, temperatura, pH, aeração, presença de água e nutrientes, muitos deles norteados pelo manejo e utilização do solo (Nascimento et al., 2010).

O Percentual de matéria orgânica no solo vai depender de fatores como a taxa de mineralização, textura do solo, clima, entrada de material orgânico, entre outros. Esses fatores interagem buscando atingir estabilidade em áreas de vegetação nativa (Khorramdel et al., 2013).

As atividades de agricultura e humana, provoca aceleração nas alterações da matéria orgânica do solo, sendo que os sistemas agrícolas deveriam se preocupar em manter elevados esse teor (Reynolds, 1990).

O manejo e aprimoramento na qualidade do solo em sistemas de cultivo intermitentes é essencial para atingir uma boa produtividade agrícola e a conservação ambiental. Nesse contexto a matéria orgânica do solo é protagonista, sendo principal indicadora de qualidade do solo sendo base para a sustentabilidade agrícola. A matéria orgânica do solo exerce influência na capacidade produtiva do solo, devido a seus efeitos diretos e indiretos no solo (Lal, 2004).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é fazer uma revisão bibliográfica sobre a essencialidade da matéria orgânica no solo para o desenvolvimento e produtividade das culturas.

### **Funções da matéria orgânica no solo**

A matéria orgânica possui um grande número de funções porem tem sua característica alterada devido ao manejo e o cultivo dos solos. A matéria orgânica é um dos componentes físicos utilizados para verificar a qualidade do solo, sendo essencial para a atividade biológica do solo.

A mesma é considerada um componente crítico, pois acredita-se segundo Craswell et. al., 2001, que a matéria orgânica influencia nos processos biológicos, químicos e físicos, e o desempenho dessas funções influencia diretamente no desenvolvimento das culturas, pois é nela que se observa a reserva de nutrientes os quais as plantas requerem, e também onde ocorre a troca de cátions e consequentemente a fertilidade do solo.

Outro papel importante da matéria orgânica estudado recentemente é o papel da mesma no balanço geral de carbono, influenciando as mudanças climáticas. Sabe-se que os solos funcionam como dreno de carbono atmosférico, sabendo disso é de suma importância buscar sistemas de produção que contribuam eficientemente para a redução da emissão de carbono, obtendo um acúmulo de carbono no solo, e, portanto, para diminuir a deterioração é recomendado que sejam feitas estratégias para que os riscos

sejam diminuídos, um exemplo é a utilização do Sistema de Semeadura Direta. (Cerri, et. al., 2007).

A caracterização da matéria orgânica no solo é feita através de dois componentes que são fundamentais: os materiais que estão iniciando a sua decomposição no solo, a qual ainda consegue-se identificar a origem vegetal do material, e segundo é quando o material está em fase avançada de decomposição não possibilitando a identificação do material de origem de sua morfologia originária, possuindo uma coloração escura, classificada como húmus (Dick et. al., 2009). Porém a caracterização da matéria orgânica não se obtém apenas dos húmus, inclui também os tecidos vegetais e animais em diferentes fases de decomposição. A definição de húmus é frequentemente referida a matéria orgânica pesada ou humificada, já os resíduos em fase inicial de decomposição são usualmente classificados como matéria orgânica leve ou particulada (Braida et. al., 2011). Para Swift (1996), o húmus é composto por famílias de macromoléculas as quais não possuem uma estrutura bem definida, constituídas de grupos hidrofóbicos e hidrofílicos, sítios de carga, identificadas por substâncias húmicas.

A matéria orgânica influencia diretamente na estabilização dos agregados e a dissolução dos minerais, e também na redução de materiais tóxicos. (Violante et. al., 2010).

### **Atributos físicos do solo**

Os procedimentos de preparo do solo e o emprego de plantas de cobertura tem grande influência na estruturação do solo e nas trocas gasosas. O preparo convencional geralmente degrada o solo através da diminuição da cobertura, reduzindo a quantidade de matéria orgânica no solo e a estabilidade dos agregados, gerando a compactação do solo, erosão, e por consequência a diminuição da produtividade (Cunha et. al., 2011).

O influxo da matéria orgânica na agregação do solo é um processo desvolto, necessitando a adição contínua de material orgânico para que se mantenha a estrutura apropriada para o desenvolvimento agrícola, sendo necessário ter uma cobertura de qualidade para que o teor de matéria orgânica seja elevado. Devido a isso os teores de matéria orgânica maior tem sido encontrado em solos de matas, pois ocorre maior deposição de resíduos orgânicos, ausência de revolvimento do solo e a diminuição da erosão hídrica (Jakelaitis, et. al., 2008).

O alto valor de CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono) são indicativos de um ecossistema o qual apresentam estresse, tal que favorece o rompimento de macroagregados e microagregados, permitindo que a matéria orgânica sofra um ataque microbiano,

umentando a taxa de mineralização, aumentando o rendimento do solo (Cunha, et. al., 2012).

Uma considerável alternativa de suma importância na manutenção da qualidade do solo é a manutenção dos resíduos que estão em superfície, os quais auxiliam na melhoria da estruturação do solo, pois a manutenção faz com que ocorra um aumento na estabilidade dos agregados, sendo onde ocorre a ação cimentante da matéria orgânica, aumento da capacidade de retenção de água, porosidade, alta aeração, ocorrendo uma diminuição de perda de água através da evaporação, decaimento da densidade devido a ação da matéria orgânica. (Calegari, 2000).

Nos períodos de seca, ocorre uma escassez de água no solo, período o qual a biomassa microbiana morre, porém quando acontece o recomeço das chuvas e o solo começa a ficar novamente úmido a biomassa que sobreviveu utiliza a matéria orgânica que foi acumulada no período de escassez juntamente com as células mortas para reiniciar a atividade microbiana, durante todo o período chuvoso. O aumento da temperatura também é considerável pois conforme a temperatura vai aumentando e ocorre a precipitação pluviométrica, acarretam em condições ideais para o aumento da biomassa no solo (Espíndola et. al., 2001).

Para Ehlers et. al. (1983), os sistemas convencionais, que retrata menor revolvimento no solo e que reserva uma grande quantidade de matéria orgânica, tem uma possibilidade maior de eficiência de raízes e microrganismos, em sua função de estruturação do solo, propiciando uma maior amplitude dos limites de resistência à penetração.

#### **Aumento da resistência e elasticidade do solo**

A resistência que o solo faz para que ocorra a penetração, sendo um atributo observado para verificar o grau de compactação do solo, também para encontrar camadas de solos compactadas, essa resistência do solo é derivada pela umidade do solo, a sua textura e pela condição estrutural (Campos et. al., 2012). Através da resistência a penetração, tem-se uma melhoria em casos os quais foram adicionados biofertilizantes (matéria orgânica), desempenhando melhorias nas propriedades físicas do solo, atuando no aumento da agregação e também da aeração do solo (Castro Filho et. al., 1998).

Indiferentemente do sistema de plantio que é escolhido, grande parte da matéria orgânica está relacionada com a fração mineral, encontrando-se a maior parte da mesma nas frações de silte e argila (D'Andréa et. al., 2004).

Em solos tropicais, como é o caso do Brasil, o carbono orgânico do solo, atua de forma essencial para que ocorra o aprimoramento das propriedades física, químicas e biológicas do solo. Portanto, o carbono orgânico do solo é uma fonte de energia para a microbiologia do solo, armazenando nutrientes, disponibilizando água para as plantas, forma e estabiliza os agregados, auxilia na resistência ao solo e na densidade, facilita a troca catiônica (Machado, 2005).

A fração de biomassa corresponde a aproximadamente 5% da matéria orgânica encontrada no solo, devido ao baixo tempo de resistência, a biomassa é modificada rapidamente (Barros, 2011).

Devido a isso observa-se que nos solos argilosos que utilizam o sistema de plantio direto nota-se a compactação maior, do que em relação aos arenosos, pois onde os solos são compactados não possuem uma porosidade maior oferecendo uma alta resistência ao desenvolvimento radicular e crescimento das raízes, devido a isso a quantidade de água que é absorvida pelo solo é menor, portanto oferecendo menos água para as plantas. Nos períodos de escassez de água observa-se uma resistência maior para que as raízes se infiltrem, com a diminuição da quantidade de matéria orgânica, os tráfegos de máquinas e animais, percebe-se que ocorre a compactação com maior facilidade. Concluindo então que os resíduos vegetais, que são adicionados sobre o solo, aumentam o teor da matéria orgânica e em consequência favorecem a descompactação do solo (Bottega, et. al., 2011).

A matéria orgânica possui um grande número de cargas superficiais, comumente nas faixas de pH que são encontradas no solo, a matéria orgânica é considerada flexível e elástica, possuindo uma grande capacidade de voltar a sua forma inicial, após receber cargas encima dela. Esse aspecto propicia que as partículas orgânicas as quais se ligam com as partículas minerais no solo são deformadas, a partir do momento em que as partículas minerais sofrerem descolamentos umas em relação as outras, através do efeito de alguma carga (Perdok, et. al., 2002).

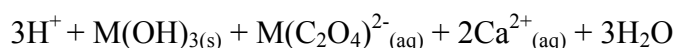
Observando que o acúmulo de matéria orgânica se deve também do princípio de que o solo contenha uma boa quantidade de água retida no solo, pois se o solo está seco a matéria orgânica não consegue se desenvolver, tem-se então duas hipóteses para as quais justificam a maior elasticidade no solo que possuem um enriquecimento com matéria orgânica, 1 – elasticidade da própria matéria orgânica aumentaria a fase elástica, devido a elasticidade da matéria orgânica ser maior que as partículas de minerais 2 –

aumento do confinamento das bolhas de ar, devido a água retida no solo (Tormasella, et. al., 2000).

Portanto pode-se concluir que os solos que contém matéria orgânica em maior quantidade do que os solos que não possuem o enriquecimento, ou uma grande quantidade de matéria orgânica, eles possuem uma fase elástica maior devido a elasticidade da mesma.

### **Funções associadas à fertilidade do solo**

Como mencionado acima, a matéria orgânica no solo é relativamente baixa, com menos de 5%, porém determinando a parte produtiva do solo. Certos compostos orgânicos auxiliam até mesmo no desgaste do material mineral, etapa de formação do solo, um exemplo disso é o íon oxalato ( $C_2O_4^{2-}$ ), que provém do metabolismo de fungos, quando tiver a existência de água, dissolvendo minerais, acelerando o processo de desgaste, tornando a disponibilidade de íons nutrientes maior. O processo de desgaste é constituído da complexação do oxalato de ferro ou alumínio em minerais, representada pela reação abaixo, onde o símbolo M é significado de Alumínio ou Ferro:



Os constituintes biológicos da matéria orgânica no solo são: polissacarídeos, aminoácidos, enxofre orgânico e fósforo, húmus, porém o húmus não é solúvel em água, obtendo uma degradação lenta, e, portanto, é o composto com maior quantidade relativa presente na matéria orgânica (Costa, et. al., 2009)

O húmus é o resíduo da degradação das plantas, contendo em maior parte C, H, e O, sendo o mais abundante e que auxilia na melhora das propriedades físicas do solo, na troca de nutrientes e retém N. O solo possui também matéria orgânica proveniente de gorduras, resinas e ceras, que possuem em sua composição substâncias extraídas de lipídeos através de solventes orgânicos, tendo como função o repelimento de água, é de baixa parte na composição da matéria orgânica. Os sacarídeos são compostos proveniente de celulose, amido, hemicelulose e gomas, sendo uma das principais fontes de alimentos para os microrganismos do solo, auxiliando na estabilização dos agregados. O nitrogênio orgânico é comumente ligado aos húmus, aminoácidos dentre outros, e tem como função de fornecer nitrogênio para a fertilidade do solo, e para finalizar os componentes orgânicos presentes no solo, tem-se também os compostos de ferro, tais como, éster fosfatos, inositol, fosfatos (ácidos fítico), fosfolipídios, que tem como função ser fonte de fosfato para as plantas. Portanto para a fertilidade do solo o componente mais importante dos constituintes da matéria orgânica é o nitrogênio

orgânico que influencia diretamente na fertilidade do solo, porém todos os outros componentes auxiliam de forma indireta na fertilidade não sendo então menos ou mais importante que os outros (Manahan, 1997).

### **Efeito da matéria orgânica sobre o grau de compactação**

A compactação do solo refere-se ao aumento de densidade em função das partículas primárias e suas frações entre areia, silte e argila. A submissão do solo a pressão ou a diminuição do espaço aéreo, faz com que se obtém um aumento da densidade aparente. Comumente os solos com partículas pequenas tem maior facilidade para que ocorra a compactação do mesmo, pois as partículas conseguem ir se encaixando, obtendo uma compactação que impede a baixa macroporosidade, a ausência dos agentes de estrutura faz com que esse processo se intensifique, estando dentre eles a matéria orgânica.

Os diversos tipos de solos têm comportamentos diferentes quando colocados a compactação, por motivo de variações de textura, da mineralogia, da umidade e também pelo teor de matéria orgânica, tem-se também a trajetória ao longo do tempo de pressões resultados dos processos pedogenéticos de formação e manejo do solo. Portanto, o aumento do teor de matéria orgânica e de argila faz com que a curva de compactação se torne platicúrtica, ou seja, diminuindo da densidade máxima do solo e aumentando a umidade ótima de compactação (Braidá, et. al., 2006).

Isso é devido a argila e a fração da matéria orgânica armazenarem uma maior quantidade de água do que as frações de silte e areia, também devido a densidade específica da matéria orgânica ser baixa, ocorre a compactação do solo quando ocorre o desequilíbrio dos teores de matéria orgânica e argila (Braidá et. al., 2010).

Normalmente a melhor forma de se evitar a compactação do solo é realizando a rotação de culturas, as quais utilizam de espécies com sistema radicular profundo, como exemplo a utilização do nabo forrageiro, o feijão guandu, as crotalárias, aveia preta e do milho (Sfredo, et. al., 2001).

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Solos com melhor produtividade são aqueles que possuem um teor de matéria orgânica acima de 3,5%, observando que valores abaixo disso o solo não consegue cumprir todas as funções necessárias do solo para com a planta como disponibilizar água, ar, temperatura, baixa resistência ao crescimento radicular e nutrientes.

É necessário o monitoramento de forma a elevar o teor de matéria orgânica do solo para que se tenha sustentabilidade e alto rendimento agrícola.

A matéria orgânica é também de grande importância para a resistência à compactação do solo, elevando sua elasticidade, recuperando mais facilmente eventuais deformações por compressão impostas pelo tráfego de máquinas e implementos agrícolas.

### REFERÊNCIAS

BARROS, J. D. de S. Estoques de carbono em solos dos Tabuleiros Costeiros Paraibanos: Diferenças entre ambientes. 2001. 106 f. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Naturais). Campina Grande-PB.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIRO, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p.331-336, 2011.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & REINERT, D.J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 605-614, 2006.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; DALVAN, J.; REINERT., D.J. & VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.131-139, 2010.

BRAIDA, J. A. et al. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 7, p.221-278, 2011.

CALEGARI, A. Coberturas verdes em sistemas intensivos de produção. In: WORKSHOP NITROGÊNIO NA SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS INTENSIVOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA. Dourados-MT. Anais. **Embrapa Agropecuária Oeste**, v.1, p. 141-153, 2000.

CAMPOS, M. C. C., OLIVEIRA, I. A., SANTOS, L. A. C., AQUINO, R. E., SOARES, M. D. R., Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaita, AM, **Revista Agro-Ambiente**, Boa Vista, RR, v 6, p.09-16, 2012.

CASTRO FILHO, C. et al. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, n. 03 p.527-538, 1998.

COSTA, F. X.; BELTRÃO, N.E.M.; LIMA, V.L.A.; NUNES JÚNIOR, E.S.; GUIMARÃES, M.M.B.; DAMACENO, F.A.V. Efeito do lixo orgânico e torta de



mamona nas características de crescimento de mamoneira. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.6, n.1, p.259-268, 2009

D'ANDREA, A. F.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v 39, n. 2, p.179-186, 2004.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BOHM, W. Penetration resistance an root growth of aots in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, p.261-275, 1983.

CERRI, C. E. P. et al. Tropical agriculture and global warming: impacts and mitigation options. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 64, n. 1, p.83-99, 2007.

CRASWELL, E. T. LEFROY, R. D. B. The role and function of organic matter in tropical soils. **NutrientCycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, 7-18, 2001.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 16 n 1, p.56-63, 2012.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; LEANDRO, W. M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I – Atributos físicos do solo (ED). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Goiania – GO, v 35, p.589-602, 2011.

DICK, D. P. et al. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo: parte II - aplicações**. 1.ed. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 2, cap. 11, p.1-68, 2009.

EHLERS, W.; KOPKE, V.; HESSE, F.; BOHM, W. Penetration resistance an root growth of aots in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 3, p.261-275, 1983.

ESPÍNDOLA, J. A. A. et al. Flutuação sazonal da biomassa microbiana e teores de nitrato e amônio de solo coberto com *Paspalumnotatum* em um agroecossistema. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p.104-113, 2001.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A.A.; SANTOS, J.B. & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p.118-127, 2008.

KHORRAMDEL, S.; KOOCHKEI, A.; MAHALLATI, M.N.; KHORASANI, R.; GHORBANI, R. Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. **Soil & Tillage Research**, v.133, p.25-31, 2013.

LAL, R. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. *Science*, v.304, p.1623, 2004.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n.2, p.329-334, 2005.

MANAHAN, Stanley E. **Environmental Science and Technology**. USA; Lewis Publishers, 1997, 641 p.

NASCIMENTO, Paulo César do et al. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do espírito santo. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n2/v34n2a07.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2016.

PERDOK, U.D.; KROESBERGEN, B. & HOOGMOED, W.B. Possibilities for modeling the effect of compression on mechanical and physical properties of various Dutch soil types. **Soil Tillage and Research**, p.65:61-75, 2002.

REYNOLDS, S.G. The influence of forest-clearance methods, tillage and slope runoff on soil chemical properties and banana plant yields in the South Pacific. **Soil erosion on agricultural land**. Eds.: I.D.L. Foster e J.A. Dearing, p.339-350, 1990.

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; KLEPKER, D. O cobre (Cu) na cultura da soja: diagnose foliar. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, p.95. (Embrapa Soja. Documentos, 157)

TORMASELLA, J.; HODNETT, M. & ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society America Journal**, v.64, p.327-338, 2000.

VIOLANTE, A. et al. Mobility and bioavailability of heavy metals and metalloids in soil environments. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 10, n. 3, p.268-292, 2010.