

# TEMAS TROPICAIS

*A Revista de Ciências Agrárias dedica especial atenção aos temas tropicais, através de uma secção destinada à publicação de artigos de índole científica sobre esses mesmos temas.*

*Esta decisão assenta na necessidade sentida de manter viva a experiência adquirida na abordagem e solução de problemas agrários tropicais, estreitando, ao mesmo tempo, a relação com os Países de Língua Oficial Portuguesa (PLOPs).*

*A publicação do muito saber adquirido estimula, ainda, a actividade de instituições especializadas e de muitos técnicos, que participam no desenvolvimento das regiões tropicais.*

*The Review of Agrarian Sciences devotes a special attention to tropical themes, through a special section open to the publication of scientific articles/papers on the same.*

*This decision comes from the strong need to preserve the existing experience on facing and settling agrarian tropical problems, supporting at the same time a stronger relationship among Countries of Portuguese Official Language (PLOPs).*

*The publication of acquired knowledge encourages also the activity of specialized organizations and scientists working on the development of tropical regions.*



# INFLUÊNCIA DE RESÍDUO DE SERRAGEM DE MÁRMORE NA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO E NA QUALIDADE DA ÁGUA

## INFLUENCE OF MARBLE CUTTING WASTE ON SOIL HYDRAULIC CONDUCTIVITY AND WATER QUALITY

Ana Paula Almeida Bertossi<sup>1</sup>, Marcos de Souza Neves Cardoso<sup>2</sup>, Ana Candida de Almeida Prado<sup>3</sup>, José Carlos Polidoro<sup>4</sup>, Giovanni de Oliveira Garcia<sup>1</sup> e Mirna Aparecida Neves<sup>1</sup>

### RESUMO

A grande quantidade de resíduos gerada na serragem de rochas ornamentais e as características destes materiais indicam possibilidades de uso no enriquecimento mineral e na correção de acidez de solos. No entanto, seus efeitos no meio ambiente são ainda desconhecidos, sendo necessário realizar estudos que garantam sua utilização de forma segura, sem oferecer riscos à qualidade da água e do solo. Nesse sentido, com objetivo de avaliar a influência da adição de resíduos provenientes da serragem de mármore na condutividade hidráulica de solos e na qualidade da água percolada, foram realizados ensaios em colunas preenchidas com misturas de solo e resíduo, interligadas a um permeâmetro de

carga constante. Os valores de condutividade hidráulica obtidos nas misturas de solo e resíduo de mármore, comparados com solo sem adição de resíduo mostraram que não houve influência na velocidade de percolação da água. Na água percolada houve aumento da condutividade elétrica, do pH e dos teores de Ca e Mg, e diminuição do Mn. Os parâmetros de qualidade da água foram comparados com a normatização do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), que fixa os limites aceitáveis para a água subterrânea. Também foram feitas comparações quanto ao grau de restrição do uso da água para irrigação, buscando verificar possíveis riscos ao crescimento vegetal.

**Palavras-chave:** Corretivo de solo, resíduo, rochas ornamentais.

### ABSTRACT

The high quantities of wastes that have been produced by dimension stone industry and the characteristics of these materials indicate possibilities of using them as soil enriching and corrective of soil acidity. However, their environmental effects are not known requiring studies to guarantee a safe utilization. Tests using a constant head permeameter interconnected to columns filled with mixture of soil and marble waste were conducted aiming to analyze the influence of wastes on soil hydraulic conductivity and quality of percolated water. Results showed that the aggregation of marble waste on soil did not affect the hydraulic conductivity but

<sup>1</sup> Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Ciências Agrárias (CCA), Departamento de Engenharia Rural - Alto Universitário s/n., Alegre, Espírito Santo, Brasil. [anapaulabertossi@yahoo.com.br](mailto:anapaulabertossi@yahoo.com.br), [giovanni@cca.ufes.br](mailto:giovanni@cca.ufes.br), [mirna@cca.ufes.br](mailto:mirna@cca.ufes.br)

<sup>2</sup> Serviço de Abastecimento de Água e Esgotos (SAAE) – Rua Olívio Correa Pedrosa s/n., Alegre, Espírito Santo, Brasil. [marcos.snc@gmail.com](mailto:marcos.snc@gmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus Cariri - Av. Tenente Raimundo Rocha, s/n., Cidade Universitária, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. [acaprado@gmail.com](mailto:acaprado@gmail.com)

<sup>4</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Rua Jardim Botânico, n. 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, Brasil. [polidoro@cnpq.embrapa.br](mailto:polidoro@cnpq.embrapa.br)

caused increasing on electric conductivity, pH, Ca and Mg besides decreasing on Mn content of percolated water. Water quality parameters were compared with limits fixed by Brazilian standardization of Environmental National Council (*Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA*), in relation to groundwater quality. Also, some parameters were analyzed according to degree of restriction on using to irrigation, in order to verify if waters would cause damage to plant growth.

**Keywords:** Dimension stone, soil acidity, waste.

## INTRODUÇÃO

Dentre os maiores produtores de rochas ornamentais do mundo, o Brasil ocupa o sexto lugar, ficando atrás da Itália, China, Índia, Portugal e Espanha. Dos estados brasileiros, o Espírito Santo é responsável pela produção de 56% dos granitos e 75% dos mármore consumidos pelo mercado interno e destinados à exportação (Rio de Janeiro, 2007; ABI-ROCHAS, 2007).

A indústria de rochas ornamentais gera grande quantidade de resíduos, destacando-se os resíduos finos produzidos durante o processo de beneficiamento. Tal processo envolve a serragem, para transformar blocos em chapas, e o polimento e corte para transformar chapas em ladrilhos e outros produtos. A cada tonelada de rocha transformada, estima-se a produção de 0,10 m<sup>3</sup> de efluente, dos quais 80% são gerados na operação de serragem (Pereira, 2006). Calmon e Silva (2006) calculam a produção de 60 mil toneladas por mês de resíduos de rochas ornamentais só no estado do Espírito Santo.

A composição dos resíduos de serragem depende do tipo de tear utilizado e também do tipo de rocha processada, já que aproximadamente 30% do bloco são transformados em pó e incorporados à lama que é descartada em lagoas de secagem. Muitas vezes, são locais não licenciados e que não possuem a

proteção exigida pelos órgãos ambientais. A utilização destes resíduos como subprodutos em outros processos produtivos é fundamental para diminuir a quantidade de rejeito descartado no ambiente, além de agregar valor a um material anteriormente indesejável.

A riqueza representada pela constituição mineral dos resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais chama atenção pelas possibilidades de utilização em diversos setores produtivos, inclusive na Agricultura. Trabalhos anteriores relatam a possibilidade de utilização destes resíduos no processo de rochagem, no qual o pó de rocha é agregado ao solo para enriquecimento mineral e corrigir acidez (Theodoro, 2000; Theodoro e Leonardos, 2006; Fyfe *et al.*, 2006).

A calagem (agregação de compostos básicos de Ca e Mg ao solo visando à neutralização da acidez) é uma prática importante no contexto agrícola. Em decorrência da reação química do material corretivo aplicado ao solo, têm-se as conhecidas alterações químicas de aumento do pH, neutralização do Fe e do Al trocável, insolubilização do Mn, fornecimento de Ca e Mg, modificações da capacidade de troca catiônica efetiva e alteração da disponibilidade de micronutrientes, entre outros efeitos (Prezotti *et al.*, 2007; Alcarde, 1992; Veloso *et al.*, 1992 e Coelho e Verlengia, 1973).

Raymundo (2008) realizou experimento de correção de acidez de solo utilizando resíduo de serragem de mármore e comprovou sua eficácia na elevação das concentrações de Ca, Mg e eliminação da toxicidade de Al, mesmo em dose abaixo da recomendada. O material estudado pelo autor apresentou características de calcário “filler”, com granulação mais fina do que 0,30 mm e reatividade superior à do calcário comercial comumente utilizado na região.

Porém, como se trata de um resíduo, considera-se importante realizar outros estudos que assegurem sua utilização sem oferecer riscos à qualidade do solo e da água. Um cuidado especial deve ser tomado com relação à fina granulação do material, que pode diminuir a condutividade hidráulica saturada

do solo. A condutividade hidráulica, expressa pela velocidade com que a água penetra no solo ou pela facilidade com que o solo transmite água, é determinada pela geometria e continuidade dos poros preenchidos por água, além de depender da estrutura do solo (Youngs, 1991; Mesquita e Moraes, 2004). A perda de substâncias químicas por lixiviação é geralmente relacionada ao fluxo desse líquido, o qual influencia todo o processo de utilização dos recursos solo e água. A agregação de elementos estranhos ao solo também pode provocar problemas de dispersão, com deterioração da estrutura e, conseqüentemente, das propriedades de infiltração de água e aeração (Raij, 1991).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da adição de resíduos do beneficiamento de mármore na condutividade hidráulica do solo e na qualidade da água de percolação utilizando-se um permeâmetro de carga constante. Além do cálculo da condutividade hidráulica do solo tratado com diferentes doses de resíduo, a água de percolação foi analisada para verificar se há desacordo com os limites de tolerância. O resíduo utilizado no experimento foi coletado na mesma fonte daquele estudado por Raymundo (2008) e, portanto, possui poder de neutralização de acidez adequado para ser utilizado como corretivo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O resíduo utilizado no experimento foi doado por uma serraria de beneficiamento

de mármore de Cachoeiro de Itapemirim e o solo foi coletado no perfil natural de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico no município de Alegre, ambos situados no sul do estado do Espírito Santo, região Sudeste do Brasil.

Após secas e destorroadas, as amostras foram analisadas para definir a quantidade de corretivo necessária para correção da acidez. Para o solo, foram determinados: pH; teores de P, K, Ca, Mg, Na, Al, Fe, Cu, Zn, Mn e B; acidez potencial (H+Al); soma de bases (SB); saturação de bases (V); capacidade de troca catiônica (CTC); saturação por alumínio (m) e índice de saturação por sódio (ISNa) seguindo a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997) (Quadro 1). O resíduo foi analisado por titulação (método para caracterização de calcário) (Quadro 2) e também foi submetido à análise química convencional (Quadro 3).

As porcentagens de resíduo de mármore a serem aplicadas no solo foram determinadas pelo Método de Saturação de Bases, proposto pelo Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (Prezotti *et al.*, 2007). Determinados os valores a serem usados, optou-se por testar também o dobro desse valor para verificar os efeitos de uma possível superdosagem. Além das misturas de solo e resíduo, foi testada a condutividade hidráulica do solo puro, para servir de testemunha. Assim, o experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos (0%, 0,2% e 0,4% de resíduo aplicado ao solo) e quatro repetições.

**Quadro 1** – Caracterização química do solo utilizado no experimento.

<b>pH<sub>H2O</sub></b>	<b>P</b> -----mg dm <sup>-3</sup> -----	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>CTC</b>	<b>Al</b> -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----	<b>H+Al</b>	<b>SB</b>
4,7	2,0	19,0	0,3	0,1	6,3	1,1	5,8	0,5
<b>ISNA</b>	<b>V</b> -----%-----	<b>m</b>	<b>Na</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b> -----mg dm <sup>-3</sup> -----	<b>Mn</b>	<b>B</b>
0,0	7,6	68,8	0,0	73,0	0,3	0,4	6,0	0,3

**Quadro 2** - Parâmetros analisados no resíduo de mármore utilizado no experimento.

Parâmetros	Valor (%)
Carbonato de Ca	63,00
Carbonato de Mg	30,24
Resíduo insolúvel	6,76
Óxido de Ca	35,28
Óxido de Mg	14,40
Equivalência Carbonato de Ca	98,80
Eficiência Relativa	99,90
Poder Relativo de Neutralização Total - PRNT	99,00
Tipo de calcário	Dolomítico
Peneira ABNT – 2,00 mm	100,00
Peneira ABNT – 0,84 mm	99,97
Peneira ABNT – 0,30 mm	99,28

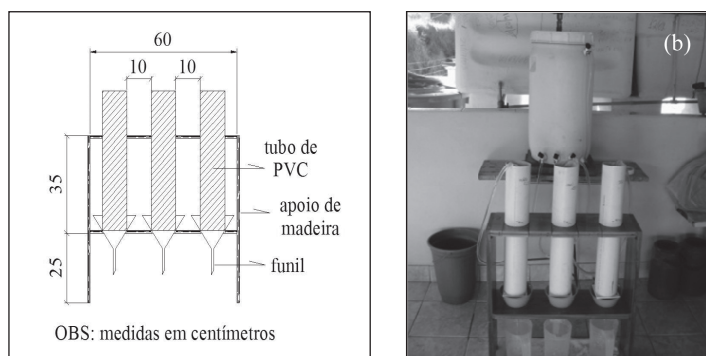
**Quadro 3** - Caracterização química do resíduo de mármore utilizado no experimento.

pH <sub>H2O</sub>	P ----- mg.dm <sup>-3</sup> -----	K	Ca ----- cmolc .dm <sup>-3</sup> -----	Mg	Na	Fe	Cu -----mg.dm <sup>-3</sup> -----	Zn	Mn
8,9	2,0	5,0	2,4	1,4	31,0	1,0	0,0	0,1	1,0

A condutividade hidráulica saturada foi determinada em laboratório utilizando um permeâmetro de carga constante e fluxo estacionário (Youngs, 1991; Ferreira, 2002; Cunha, 2006). O permeâmetro foi montado em um apoio de madeira com espaço para três tubos de PVC (Figura 1). Na porção inferior dos tubos, foram acoplados ralos recobertos por manta de lã de vidro para reter a amostra e deixar passar apenas a água de percolação. As paredes dos tubos foram revestidas com fina camada de areia grossa (aderida às paredes com cola à prova d'água), evitando a formação de caminhos preferenciais para o fluxo. Uma quantidade predeterminada de amostra foi depositada lentamente nos tubos e compactada, exercendo-se um número definido de impactos por um peso conhecido, até preenchê-los na altura desejada. Este procedimento foi feito cuidadosamente em todos os tubos para evitar a formação de estratos ou camadas e para tornar o material o mais homogêneo possível, já que a estrutura exerce forte influência sobre a condutividade. Com o propósito de aproximar a densidade

da amostra no tubo à densidade real do solo, foram utilizadas 2640 g de mistura distribuídas em um volume de 2149 cm<sup>3</sup>, obtendo-se a densidade de 1,2 g/cm<sup>3</sup> - os tubos foram preenchidos com as misturas até a altura de 30 centímetros (L). Na parte superior (sobre a amostra) também foi colocada manta de lã de vidro para evitar a formação de depressões causadas pelo fluxo da água.

Antes da realização do teste foi feita a saturação do material para eliminar a presença de ar no interior dos poros. A saturação foi alcançada colocando-se a coluna dentro de um recipiente contendo água, por aproximadamente 48 horas. Concluída a saturação, os tubos foram colocados no suporte de madeira e o frasco de Mariotte foi elevado a uma determinada altura, de forma que a espessura da lâmina de água (l) sobre a amostra permanecesse entre 10 e 15 cm. Foi mantido um fluxo estacionário de água (Q) sobre a coluna. O tempo de percolação de determinado volume de água foi cronometrado, enquanto o efluente era canalizado por funis e coletado em jarras dispostas sob os tubos. A tempe-



**Figura 1** - Equipamento utilizado para medir a condutividade hidráulica saturada: (a) esquema de montagem do permeâmetro e (b) permeâmetro acoplado ao tubo de Mariotte.

ratura da água utilizada no experimento foi monitorada, devido à sua influência sobre a viscosidade.

A condutividade hidráulica ( $K_0$ ) foi calculada utilizando-se a Lei de Darcy (Custodio e Llamas, 1996), com a seguinte formulação:

$$K_0 = Q/(A \cdot i), \text{ onde:}$$

Q = Volume coletado/tempo,

A é a área da seção transversal do tubo e;

$i = (l + L)/L$ , onde:

l é espessura da lâmina de água e,

L é a altura da mistura colocada no tubo de PVC.

$K_0$  foi corrigida para a temperatura de 20° C, utilizando a fórmula:

$$K_0^{20} = K_0 \cdot \eta_0 / \eta_0^{20}, \text{ onde:}$$

$\eta_0$  é a viscosidade da água na temperatura de medida e

$\eta_0^{20}$  é a viscosidade da água a 20° C

A água percolada pelos tubos foi coletada e foram medidos o volume, o pH, a turbidez (T) e a condutividade elétrica (CE) do líquido. As amostras foram armazenadas à temperatura de 4°C para análise química por espectrometria de absorção atômica com determinação das concentrações de Ca, Mg, Na, K, Zn, Fe, Mn e Cu.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e aplicado o teste de Tukey para os valores significativos em nível

de 5% de probabilidade. A análise estatística foi realizada no programa computacional SAEG 9.1 (UFV, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo utilizado no experimento é pobre em nutrientes devido ao alto grau de intemperismo, como é típico em muitas áreas brasileiras (Quadro 1). De acordo com os níveis adotados para interpretação de fertilidade do solo (Prezotti *et al.*, 2007), o pH de 4,7 denota acidez elevada; os teores de P, K, Ca, Mg são baixos; SB e V são baixas; a CTC é média; Al, m e H+Al estão em níveis altos; o teor de Fe é alto; Mn é médio e B, Cu e Zn são baixos.

As características do resíduo (Quadro 2) permitem enquadrá-lo dentro da classificação de corretivos de acidez (Brasil, 2004; Alcarde, 2005) como calcário dolomítico (teor de  $MgCO_3$  superior a 25%), metamórfico (originado de rocha metamórfica – mármore) e com alto poder reativo (PRNT de 99%). Alguns autores, como Bellingieri *et al.* (1989) e Alcarde *et al.* (1989), destacam que quanto mais fina a granulação do calcário, mais rápidos serão seus efeitos na correção da acidez, no fornecimento de Ca e Mg e nas respostas

das culturas em produção, principalmente nos primeiros cultivos após a aplicação. Tais efeitos foram observados nos experimentos de Raymundo (2008) estudando os mesmos resíduos utilizados nesta pesquisa. De fato, a análise granulométrica apresentada no Quadro 2 mostra que 99,28% das partículas têm tamanho inferior a 0,3 mm, atestando o alto poder reativo do resíduo.

Níveis elevados de pH (Quadro3) são tipicamente encontrados nos resíduos de rochas ornamentais devido aos insumos utilizados no processo de serragem (geralmente óxido de cálcio); porém, o valor medido no resíduo estudado não o classifica como corrosivo (conforme ABNT, 2004).

É importante destacar que, dentre os insumos utilizados na serragem de rochas ornamentais, a granalha e as lâminas de aço são fontes potenciais de Fe, o qual, em excesso no solo, pode representar risco de toxidez às plantas (Sousa *et al.*, 2004). Vários autores citados por Silva (2005) colocam os teores críticos de Fe variando entre 30 e 500 mg.dm<sup>-3</sup>; enquanto Fageria *et al.* (1981) afirmam que a toxicidade ocorre em concentrações acima de 80 mg.dm<sup>-3</sup>. Raymundo (2008), em seu experimento de incubação de solo agregado a resíduo de serragem de mármore, encontrou teores de Fe mais elevados no solo corrigido com resíduo de tear de lâmina de aço, comparativamente ao resíduo de tear diamantado; mas em ambos os casos os teores ficaram abaixo dos níveis de toxidez. O resíduo utilizado no presente trabalho é proveniente de tear do tipo diamantado, fornecendo, portanto, baixo teor de Fe (Quadro 3), que pode ser considerado insignificante frente à quantidade encontrada no solo puro (Quadro1).

O Mn em excesso também pode causar efeitos tóxicos às plantas (Coelho e Verlengia, 1973), mas no resíduo utilizado ele aparece em nível muito baixo (Quadro 3). Quanto ao Zn e Cu, o resíduo apresenta quantidades insignificantes, como era de se esperar pelo tipo de rocha processada e pelos insumos utilizados no beneficiamento.

O Na pode ocasionar problemas de salini-

dade e toxidez. Como sua mobilidade é bastante elevada, os efeitos deste elemento são estudados na água de percolação.

### Condutividade hidráulica do solo

A condutividade hidráulica de solos saturados varia amplamente e pode estar relacionada à qualidade da água de percolação. Ayers e Westcot (1994) relacionam a diminuição da permeabilidade do solo aos problemas de infiltração das águas de irrigação. A má qualidade da água geralmente causa diminuição da taxa de infiltração nos primeiros centímetros do solo, podendo ocasionalmente se estender a profundidades maiores. O resultado final é o decréscimo no suprimento de água para as plantas e a redução das reservas armazenadas no solo para uso posterior à irrigação ou em períodos de estiagem. Os autores consideram que taxas de infiltração abaixo de 0,3 cm.h<sup>-1</sup> são baixas, enquanto valores acima de 12 cm.h<sup>-1</sup> são relativamente altos.

Para Youngs (1991), a condutividade hidráulica de solos com textura fina fica abaixo de 0,04 cm.h<sup>-1</sup>; solos com estrutura bem definida possuem valores entre 0,04 e 4,17 cm.h<sup>-1</sup> e solos de textura grossa apresentam valores acima de 4,17 cm.h<sup>-1</sup>.

Em nosso experimento com resíduo de mármore, os valores de condutividade hidráulica obtidos nos diferentes tratamentos não apresentaram diferença significativa, mostrando que não houve influência da aplicação de resíduo no movimento da água no solo saturado. A condutividade hidráulica média foi de 79,88 ± 13,58 cm.h<sup>-1</sup>, podendo ser classificada como muito rápida (Ferreira, 2002) e enquadrada na faixa de solos de textura grossa com altas taxas de infiltração (Youngs, 1991).

### Qualidade da água de percolação

A análise da água percolada no solo puro e no solo agregado às duas doses de resíduo mostra que não houve diferença significativa com relação aos parâmetros T, K, Na, Fe, Cu, Zn e Mn. Os valores médios são apresentados no Quadro 4.



Parâmetro	M±DP
T (NTU)	2,90±0,82
K (mg.L <sup>-1</sup> )	4,71±3,84
Na (mg.L <sup>-1</sup> )	8,11±1,25
Fe (mg.L <sup>-1</sup> )	0,54±0,32
Mn (mg.L <sup>-1</sup> )	0,02±0,01
Cu (mg.L <sup>-1</sup> )	0,03±0,06
Zn (mg.L <sup>-1</sup> )	0,05±0,03

**Quadro 4** - Valores médios (M) e desvio padrão (DP) dos parâmetros que não apresentaram diferença significativa na água percolada nos diferentes tratamentos.

Grandes variações de T na água de percolação podem indicar carreamento de material em suspensão, tanto que a Resolução CONAMA 396/08 (Brasil, 2008) exige seu monitoramento junto ao pH e à CE. No experimento realizado, os valores de T não variaram com a agregação de resíduos ao solo, ficando, portanto de acordo com a normatização brasileira.

O teor de Na medido na água percolada está dentro dos padrões exigidos pela Resolução CONAMA 396/08 (Brasil, 2008), que estabelece o teto de 200 mg.L<sup>-1</sup> para consumo humano e de 300 mg.L<sup>-1</sup> para recreação.

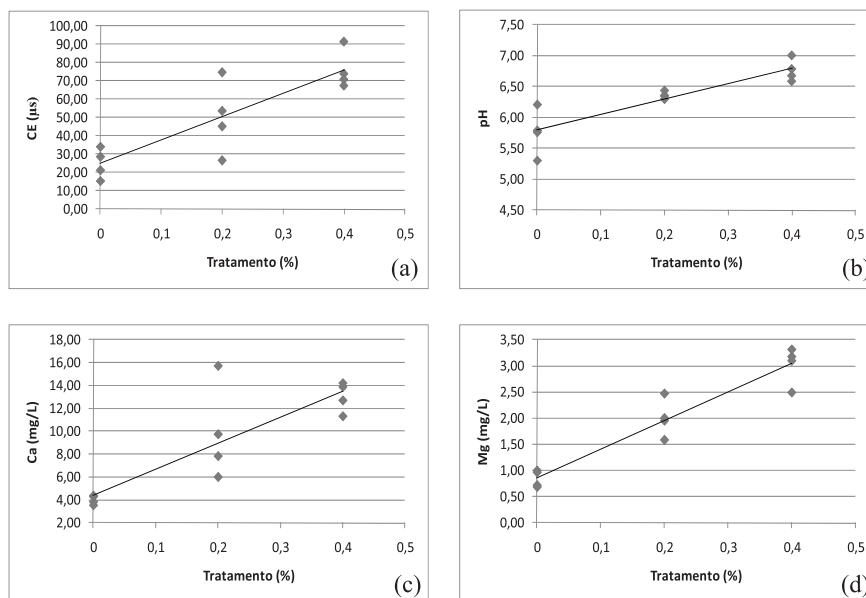
Elementos traços como o Fe, Mn, Cu e Zn encontrados em solos e águas são essenciais para o crescimento vegetal; porém, em quantidades excessivas podem causar acumulações indesejáveis nos tecidos vegetais e prejudicar o crescimento das plantas. Para Ayers e Westcot (1994), teores de Fe na água até 5,0 mg.L<sup>-1</sup> não representam perigo para as plantas em solos aerados, mas podem contribuir para a acidificação e perda da disponibilidade de P e Mo. A presença de Fe na água subterrânea é aceita pela Resolução CONAMA 396/08 (Brasil, 2008) até o limite de 0,3 mg.L<sup>-1</sup> para consumo humano e recreação e até 5 mg.L<sup>-1</sup> para irrigação. Portanto, em relação aos dois primeiros tipos de uso, o Fe está em excesso em todos os tratamentos, inclusive no solo puro. O Mn é tolerável até 0,2 mg.L<sup>-1</sup>, mas em excesso (algumas dezenas a alguns miligramas por litro) pode ser tóxico às plantas em solos ácidos (Ayers e

Westcot, 1994). O Cu e o Zn podem ser tóxicos em concentrações variáveis, a depender do tipo de planta. O primeiro geralmente é tolerado até 0,2 mg.L<sup>-1</sup> e o segundo até 2,0 mg.L<sup>-1</sup>, com toxicidade reduzida em pH acima de 6,0 e em solos orgânicos com textura fina. Os teores de Mn, Cu e Zn medidos na água percolada em todos os tratamentos foram muito baixos (Quadro 4), o que era de se esperar tendo em vista que tanto o solo quanto o resíduo são pobres nestes elementos e que os mesmos tendem a precipitar com a correção do pH. Com relação à Resolução CONAMA (Brasil, 2008), o Mn, o Cu e o Zn estão abaixo do Limite de Quantificação Praticável (LQP), que é a menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão.

Os gráficos da Figura 2 mostram a distribuição dos valores brutos dos parâmetros que apresentaram diferença significativa: CE, pH, Ca e Mg. Todas as variáveis subiram com o aumento da dose de resíduo de mármore. O Quadro 5 apresenta a comparação entre as médias calculadas para estas variáveis.

A CE aumentou de forma significativa apenas no tratamento com o dobro da dose recomendada. Portanto, para a utilização de resíduo de mármore como corretivo de acidez na dose recomendada, espera-se que a CE da água seja mantida no mesmo nível daquela obtida para o solo puro. O aumento da CE ocorreu como consequência do aumento de sólidos dissolvidos. Segundo Bernardo *et al.* (2006), águas com os valores de CE observados no solo tratado com o dobro da dose recomendada do resíduo utilizado como corretivo são classificadas como de alta salinidade e não podem ser empregadas em solos com deficiência de drenagem.

Em ambos os tratamentos com resíduo, o pH da água percolada subiu em relação ao solo puro; porém, o valor ainda está dentro da normalidade observada em águas subterrâneas. O pH normal para a água no solo varia de 6,5 a 8,4; valores fora desta faixa alertam para a necessidade de verificação de outros parâmetros pois podem indicar presença de íons tóxicos (Ayers e Westcot, 1994).



**Figura 2** - Distribuição dos parâmetros significativos analisados na água de percolação em função da dose de resíduo de mármore (3 tratamentos e 4 repetições).

**Quadro 5** - Variação dos parâmetros significativos medidos na água percolada nos diferentes tratamentos.

TRATAMENTO	CE ( $\mu\text{S}$ )	pH	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)
Solo puro	24,87 <sup>A</sup>	5,76 <sup>A</sup>	4,00 <sup>A</sup>	0,84 <sup>A</sup>
Solo + 0,2 % de resíduo	50,12 <sup>AB</sup>	6,36 <sup>B</sup>	9,84 <sup>B</sup>	2,00 <sup>B</sup>
Solo + 0,4 % de resíduo	75,97 <sup>B</sup>	6,76 <sup>B</sup>	13,05 <sup>B</sup>	3,02 <sup>C</sup>

OBS: Letras iguais na coluna não diferem no teste de Tukey em nível de 5% de significância.

O fornecimento de carbonatos pelo resíduo, além de elevar o pH da água, solubilizou Ca e Mg. Os teores de Ca e Mg chegaram a triplicar no tratamento com o dobro da dose recomendada. Isso significa que, embora o resíduo forneça quantidades consideráveis de Ca e Mg ao solo, podendo atuar como corretivo de acidez, estes elementos estão também sendo lixiviados rapidamente sendo incorporados à água de percolação que poderá ser absorvida pelas plantas e/ou chegar ao lençol freático.

Solos e águas contendo altos níveis de Mg, onde a razão Ca/Mg é menor do que 1, podem apresentar problemas de infiltração. Além disso, os efeitos potenciais do Na podem ser ligeiramente incrementados e pode ocorrer deficiência de Ca nas plantas, retardando seu crescimento. Assim, a razão Ca/Mg acima de 1 é recomendável, pois o Ca pode reduzir efeitos tóxicos do Na e do Mg. No caso estudado, embora os níveis de Mg sejam crescentes com a adição de resíduos no solo, a razão Ca/Mg permanece sempre

menor do que 1, indicando não haver riscos relativos ao Mg.

De acordo com o Comitê de Consultores da Universidade da Califórnia (University of California, 1974), a avaliação da qualidade das águas de irrigação deve ser feita calculando-se o *Sodium Adsorption Ratio* (SAR) ou Razão de Adsorção de Sódio (RAS), que leva em consideração os teores de Na, Ca e Mg, conjuntamente. Os valores da RAS associados à CE indicam os graus de restrição ao uso da água na agricultura (Quadro 6). A água de percolação pesquisada neste trabalho pode ser analisada com base neste critério, uma vez que oferecerá riscos ou benefícios ao solo e às culturas de acordo com suas características físico-químicas.

Os valores calculados para os parâmetros RAS e CE dos tratamentos utilizados no experimento estão expressos no Quadro 7 e, ao compará-los com os valores do Quadro 6, é possível qualificá-los quanto à restrição ao uso em: Severa, Moderada e Nenhuma, para os tratamentos solo puro, solo+0,2% de resíduo e solo+0,4% de resíduo, respectivamente.

Segundo Ayers e Westcot (1994), a elevada concentração de Na em relação ao Ca e Mg acarreta problemas de desestruturação

do solo, dificultando o processo de infiltração da água devido à obstrução ou extinção de poros. A capacidade de infiltração da água no solo cresce com o aumento da salinidade (CE) e decresce com o aumento da razão de adsorção de sódio (RAS). Como apresentado no Quadro 7, a RAS e a CE possuem valores inversos: quando uma é maior, a outra é menor, o que pode ter contribuído com a manutenção da condutividade hidráulica dos diferentes tratamentos, já que as duas influenciam no processo de infiltração de forma inversa.

## CONCLUSÕES

O resíduo de serragem de mármore utilizado neste trabalho possui características de calcário dolomítico metamórfico de alto poder reativo. O pH não o classifica como corrosivo e os teores de Fe, Mn, Cu e Zn ocorrem em teores bem abaixo dos valores considerados tóxicos às plantas.

Com relação às características da água percolada nos diferentes tratamentos, não houve diferença significativa com relação aos parâmetros T, K, Na, Fe, Cu, Zn e Mn. Os teores

**Quadro 6** - Diretrizes para interpretação da qualidade da água para irrigação com base no RAS (razão de adsorção de sódio) e na condutividade elétrica (CE) (University of California, 1974).

INTERVALOS DE RAS E CE (dS.m <sup>-1</sup> )		GRAU DE RESTRIÇÃO AO USO		
		Nenhuma	Moderada	Severa
RAS = 0 a 3	e CE	>0,7	0,7 a 0,2	<0,2
RAS = 3 a 6	e CE	>1,2	1,2 a 0,3	<0,3
RAS = 6 a 12	e CE	>1,9	1,9 a 0,5	<0,5
RAS = 12 a 20	e CE	>2,9	2,9 a 1,3	<1,3
RAS = 20 a 40	e CE	>5,0	5,0 a 2,9	<2,9

**Quadro 7** – Qualificação da água percolada nos tratamentos testados (RAS = razão de adsorção de sódio e CE = condutividade elétrica).

TRATAMENTO	RAS	CE (dS/m)	RESTRIÇÃO AO USO
Solo Puro	3,94	0,249	Severa
Solo + 0,2 % de resíduo	1,54	0,501	Moderada
Solo + 0,4 % de resíduo	1,28	0,760	Nenhuma

de Fe medidos em todos os tratamentos ficaram acima do valor máximo permitido para consumo humano e recreação. É importante destacar que os altos teores de Fe encontrados na água de percolação foram fornecidos pelo próprio solo. Os teores de Mn, Cu e Zn medidos na água percolada estão em níveis seguros de acordo com a normatização.

Os parâmetros CE, pH, Ca e Mg subiram com o aumento da dose de resíduo de mármore aplicada ao solo. O pH permaneceu dentro da normalidade observada em águas subterrâneas. Os teores de Ca e Mg aumentaram de forma considerável na água percolada pelo solo tratado, o que não chegou a representar riscos às plantas, uma vez que a razão Ca/Mg permaneceu menor do que 1.

Com base na RAS (ou SAR) e na CE, as águas percoladas no solo puro, no solo com 0,2% de resíduo e no solo com 0,4% de resíduo apresentaram grau de restrição Severa, Moderada e Nenhuma, respectivamente, mostrando que a adição de resíduo ao solo trouxe benefícios à qualidade da água de percolação. O comportamento inverso da RAS e da CE (quando uma aumenta a outra diminui) pode ter contribuído com a manutenção da condutividade hidráulica dos diferentes tratamentos, já que as duas influenciam no processo de infiltração de forma inversa. Contudo, é importante atentar para a dosagem a ser aplicada, pois o valor da CE da água percolada no solo tratado com o dobro da dose recomendada pode indicar salinidade alta, causando prejuízos em solos com deficiência de drenagem.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (processo 481013/2008-3) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo - FAPES (processo 42402794/08) pelo financiamento dos projetos desenvolvidos paralelamente a esta pesquisa; à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFES pela concessão de uma bolsa de estudos e ao La-

boratório de Nutrição de Plantas do CCA/UFES pela realização das análises da água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIROCHAS - Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais. (2007) - *Notícias sobre Exportações: balanço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2007* (em linha). (Acesso em 29 julho 2008). Disponível em <[http://www.ivolution.com.br/news/upload\\_pdf/6023/Retrospectiva\\_2007.pdf](http://www.ivolution.com.br/news/upload_pdf/6023/Retrospectiva_2007.pdf)>
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004) - *Resíduos sólidos: classificação: 10004*. Rio de Janeiro, ABNT, 71 p.
- Alcarde, J.C. (2005) - *Corretivos da acidez dos solos* (em linha). São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), 24 p. (Boletim Técnico 6). (Acesso em 28 junho 2010). Disponível em <[http://www.anda.org.br/boletins/boletim\\_06.pdf](http://www.anda.org.br/boletins/boletim_06.pdf)>.
- Alcarde, J.C.; Paulino, V.T. e Denardin, J.S. (1989) - Avaliação da reatividade de corretivos da acidez dos solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13, 3: 387-392.
- Ayers, R.S. e Westcot, D.W. (1994) - *Water Quality for Agriculture* (em linha). Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), (Series: FAO Irrigation and Drainage Papers - 29). (Acesso em 01 julho 2010). Disponível em <<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.htm#TOC>>.
- Bellingieri, P.A.; Alcarde, J.C. e Souza, E.C.A. (1989) - Eficiência relativa de diferentes frações granulométricas de calcários na neutralização da acidez dos solos, avaliada em laboratório. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, 46, 2: 303-317.
- Bernardo, S.; Soares, A.A. e Mantovani, E.C. (2006) - *Manual de Irrigação*. Viçosa, Editora UFV, 625 p.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Secretaria

- de Apoio Rural e Cooperativismo (SARC) (2004) - *Instrução Normativa nº 4, de 02/08/2004* (em linha). (Acesso em 22 agosto 2010) Disponível em <[http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?met\\_hod=consultarLegislacaoFederal](http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?met_hod=consultarLegislacaoFederal)>.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (2008) - *Resolução nº 396, de 03/04/2008* (em linha). Diário Oficial da União nº 066, 07 abr. 2008, seção 1, pág. 64-68. (Acesso em 30 setembro 2009). Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>.
- Calmon, J.L. e Silva, S.A.C. (2006) - Mármore e Granito no Espírito Santo: problemas ambientais e soluções. In: Domingues, A.F.; Boson, P.H.G. e Alípez, S. (Eds.) - *A gestão de Recursos Hídricos e a Mineração* (em linha). Brasília, Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM, p. 199-231. (Acesso em 20 abril 2007). Disponível em <[http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes\\_2006.asp](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes_2006.asp)>.
- Coelho, F.S. e Verlengia, F. (1973) - *Fertilidade do solo*. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 384 p.
- Cunha, L.P. (2006) – *Avaliação do Regime Estacionário em experimentos de fluxo de água em colunas de solo saturado* (em linha). Dissertação de Mestrado, Piracicaba, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 74 p. (Acesso em 28 junho 2010). Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-07042006-162730/>.
- Custodio, E. e Llamas, M. (1996) - *Hidrologia Subterrânea*. Barcelona, Omega, 1157 p.
- Dadalto, G.G. e Fullin, E.A. (2001) – *Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo (4ª aproximação)*. Vitória, Sociedade Espiritossantense de Engenheiros Agrônomos – SEEA e Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – INCAPER, 275 p.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1997) - *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 212 pp.
- Fageria, N.K.; Barbosa Filho, M.P. e Gheyi, H.R. (1981) - Avaliação de cultivares de arroz para tolerância à salinidade. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 16, 5: 677-681.
- Ferreira, P.A. (2002) - Dinâmica da água no solo. In: Ferreira, P.A. - *Drenagem de terras agrícolas*, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, p. 24-36.
- Fyfe, W.S.; Leonardos, O.H. e Theodoro, S.H. (2006) - Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 4: 715-720.
- Mesquita, M.G.B.F. e Moraes, S.O. (2004) - A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência do Solo*, 34, 3: 963-969.
- Pereira, F.R. (2006) - *Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentícias*. Tese de doutoramento. Aveiro, Universidade de Aveiro, Portugal.
- Prezotti, L.C.; Gomes, J.A.; Dadalto, G.G. e Oliveira, J.A.de (2007) - *Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª aproximação*. Vitória, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 305 p.
- Raij, B.V. (1991) – *Fertilidade do Solo e Adubação*. São Paulo/Piracicaba, Ceres/Potafos, 343 p.
- Raymundo, V. (2008) - *Uso de Resíduos de Serragem de Mármore do Estado do Espírito Santo como Corretivo da Acidez de Solos*. Dissertação de Mestrado. Alegre, Universidade Federal do Espírito Santo, 72 p.
- Rio de Janeiro (2007) - Departamento de Recursos Minerais - DRM. *Panorama do Setor no Mundo e no Brasil* (em linha). (Acesso em 10 abril 2007). Disponível em <<http://www.drm.rj.gov.br/panorama.htm>>.
- Silva, L.S. da (2005) - Calagem em solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. *Ciência Rural*, 35, 5: 1054 – 1061.

- Sousa, R.O.; Camargo, F.A. de O. e Vahl, L.C. (2004) - Solos Alagados (Reações redox). In: Meurer, E.J. - *Fundamentos de Química do Solo*. Porto Alegre, Gênese, 290 p.
- Theodoro, S.H. e Leonardos, O.H. (2006) - The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78, 4: 721-730.
- Theodoro, S. H. (2000) - *Fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural* (em linha). Tese de doutoramento, Brasília, Universidade Federal de Brasília, 225 p. (Acesso em 28 junho 2010). Disponível em < <http://www.unbcds.pro.br/publicacoes/SuziHuff.pdf>>.
- Universidade Federal de Viçosa (2007) - *Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1*. Viçosa, Fundação Arthur Bernardes, UFV. (Programa computacional).
- University of California. Committee of consultants (1974) - *Guideline for Interpretation of Water Quality for Agriculture*. Davis, 13 p.
- Veloso, C.A.C., Borges, A.L.; Muniz, A.S. e Veigas, I.A. de J.M. (1992) - Efeito de diferentes materiais no pH do solo. *Scientia Agricola*, 49, 1: 123-128.
- Youngs, E.G. (1991) - Hydraulic Conductivity of Saturated Soils. In: Smith, K.A. e Mullins, C.E. (Eds) - *Soil Analysis: physical methods*. New York, M. Dekker, p. 161-207.