

## **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**

**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Luiz Inácio Lula da Silva**

**José Alencar Gomes da Silva**

Vice-Presidente

**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

**Sérgio Machado Rezende**

Ministro da Ciência e Tecnologia

**Luiz Antonio Rodrigues Elias**

Secretário-Executivo

**José Edil Benedito**

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

**CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**José Farias de Oliveira**

Diretor do CETEM

**Carlos César Peiter**

Coordenador de Apoio Tecnológico à Micro e Pequena Empresa

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais

**Silvia Cristina Alves França**

Coordenadora de Processos Minerais

**Cosme Antônio de Moraes Regly**

Coordenador de Administração

**Ronaldo Luiz Correa dos Santos**

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

**Andrea Carmadella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN 978-85-61121-59-4

STA - 55

## **Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**

### **Ramires Ventura Machado**

Graduando em Agronomia na UFES, bolsista de iniciação científica do CETEM.

### **Roberto Carlos da C. Ribeiro**

Engenheiro Químico, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, pesquisador adjunto do CETEM.

### **Felipe Vaz Andrade**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, professor do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo.

### **Renato Ribeiro Passos**

Engenheiro Agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, professor do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo.

### **Luiz Felipe Mesquita**

Graduando em Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo.

**CETEM/MCT**

2010

## **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Luis Gonzaga Santos Sobral**

Editor

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Subeditor

### **CONSELHO EDITORIAL**

Marisa Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio Moreira Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos Augusto da Costa (UERJ), Fátima Maria Zanon Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánches (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minero metalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

**Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas**

Coordenação Editorial

**Vera Lúcia Espírito Santo Souza**

Programação Visual

**Carolina Nascimento de Oliveira**

Edição Eletrônica

**Andrezza Milheiro da Silva**

Revisão

---

Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais / Ramires Ventura Machado [et al.]. — Rio de Janeiro: CETEM / MCT, 2010. 50 p. (Série Tecnologia Ambiental, 55)

1. Rochas ornamentais. 2. Resíduos industriais. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Machado, Ramires Ventur. III. Ribeiro, Roberto Carlos. IV. Andrade, Felipe Vaz. V. Passos, Renato Ribeiro. VI. Mesquita, Luiz Felipe. VII. Série. VIII. Solos tropicais.

CDD – 549.11

---

# SUMÁRIO

RESUMO	07
ABSTRACT	08
1   INTRODUÇÃO	09
1.1   Calagem	10
1.2   Materiais corretivos da acidez do solo	11
1.3   Rochagem	12
2   OBJETIVO	15
3   MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1   Coleta dos resíduos e do solo	16
3.2   Caracterização dos solos e dos resíduos	16
3.3  Montagem e condução dos experimentos	17
4  RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1  Características físicas e químicas do solo	21
4.2  Análise dos corretivos	24
4.3  Análises dos experimentos	24
5  CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45



## RESUMO

Os solos brasileiros, de uma maneira geral, apresentam baixa fertilidade natural, o que os levam a uma grande dependência de corretivos para a produção agrícola. A correção da acidez do solo é realizada através da calagem, que consiste na aplicação de calcário à camada arável do solo, que é a área de maior concentração de raízes. A calagem, além da correção do pH do solo, contribui para neutralização do alumínio, tóxico às plantas, e para o aumento de cálcio e magnésio no solo. Entretanto, existem materiais alternativos que também podem ser utilizados para esse fim, como os resíduos de rochas. O objetivo do trabalho foi avaliar a aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais como corretivos da acidez do solo e/ou como fontes de nutrientes para a agricultura. Foram conduzidos experimentos em laboratório (incubação) e em casa de vegetação. O experimento de laboratório seguiu um esquema fatorial 2x3x5, em que os fatores em estudo foram: dois solos (Latossolo Vermelho - LV e Vermelho Amarelo - LVA); três tipos de corretivos da acidez do solo (Calcário; Resíduo de mármore e Resíduo de rocha) e cinco doses dos corretivos (0; 30; 60; 90; 120% da necessidade de calagem). O experimento com plantas de café em casa de vegetação seguiu um esquema fatorial 2x2x5 em que os fatores em estudo foram: dois solos (LV e LVA); dois tipos de corretivo (calcário e resíduo de rocha) e cinco doses dos corretivos (0, 30, 60, 90 e 120% da necessidade de calagem). Verificou-se que os resíduos de rochas ornamentais demonstraram potencialidades de serem utilizados como corretivo da acidez do solo e como fonte de nutrientes (cálcio e magnésio) para as plantas, para ambos os experimentos realizados, não apresentando, de maneira geral, diferenças significativas em relação à utilização do calcário.

### Palavras-chave

Resíduos de rochas, rochagem e calagem.

## **ABSTRACT**

Brazilian soils, in general, have low natural fertility, which leads them to a heavy reliance on agricultural soil liming and fertilizer for agricultural production. The soil acidity correction is achieved by the setting, which involves the application and incorporation of lime to arable soil layer, which is the area of greatest root concentration. Liming, beyond the correction of soil acidity (pH), contributes to aluminium neutralization, toxic element to plants, and to the increase of Ca and Mg in the soil. However, there are alternative materials that can also be used to repair and fertilize the soil, for example, the use of waste rock. This study aimed at evaluating the use of waste arising from the cutting of stones as soil liming, or as sources of nutrients for agriculture. Experiments were accomplished in laboratory (incubation) and in a greenhouse. The laboratory experiment followed a factorial 2 x 3 x 5 in which the factors were: two soils (Oxisoil - LV and a Red Yellow - LVA), three types of soil liming agents (limestone, marble waste; waste rock) and five doses of lime (0, 30, 60, 90, 120% of lime requirement). The experiment in a greenhouse, with coffee plants, followed a 2x2x5 factorial design in which the factors studied were two soils (LV and LVA), two types of lime (limestone and waste rock) and five doses of lime (0, 30, 60, 90, 120% of lime requirement), with three replications. It was found that waste stones demonstrated potential for being used as soil acidity corrective and as a source of nutrients (calcium and magnesium) for plants for both experiments, not showing, in general, significant differences regarding the use of limestone.

### **Keywords**

Soil acidity, stones, waste rock, rock for crops.



## 1 | INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da indústria de rochas ornamentais tem uma grande importância econômica no estado do Espírito Santo. São inclusos como componentes dessa cadeia setores de extração, beneficiamento primário (desdobramento) e secundário (polimento e produtos acabados) de mármore e granitos. Em consequência disso, uma quantidade vultosa de resíduos é gerada tornando seu destino final um problema ambiental de grandes proporções.

O desafio atualmente enfrentado pelo homem é desenvolver ações que resultem em um menor impacto ambiental aos ecossistemas e uma maior sustentabilidade dos agrossistemas. Dessa forma, consegue-se alcançar o desenvolvimento sócio-econômico com a conservação e proteção dos recursos naturais, que são os requisitos básicos para o desenvolvimento sustentável. Apesar de sua lenta dissolução, esses resíduos de rochas podem, também, contribuir como fonte de nutrientes às plantas, dependendo do seu tipo, quantidade e reatividade. A necessidade da busca por produtos de baixo custo, que possam ser utilizados como fontes de nutrientes, o “envelhecimento” dos solos tropicais e a crescente importação de fertilizantes pelo país fazem do uso do resíduo (ou pó) de rochas na agricultura uma alternativa importante para a correção e/ou adubação de nossos solos.

A maioria dos solos brasileiros apresenta um alto grau de intemperismo condicionado por um ambiente tropical de chuvas intensas e elevadas temperaturas. Solos ácidos, como os Latossolos, ocupam grandes áreas do território brasileiro (CAMARGO *et al.* 1987; KER, 1997) e, para um adequado aproveitamento agrícola dessas áreas, a prática da calagem é de

fundamental importância (ALCARDE, 1992; ALCARDE; RODELLA, 2003). Portanto, a correção da acidez dos solos, associada a uma adubação adequada, é a forma mais eficiente para eliminar as barreiras químicas para o pleno desenvolvimento da planta. Solos dessa natureza, uma vez corrigidos quimicamente, apresentam grande potencial agrícola, possibilitando melhorias na nutrição da planta e resultam em boas produtividades.

## 1.1 | Calagem

A acidez de um solo consiste na substituição dos cátions básicos do complexo de troca (CTC) do solo por  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{H}^+$ , este último também originado da dissociação de grupamentos ácidos da matéria orgânica. Os solos podem ser naturalmente ácidos, pela pobreza do material de origem, desprovido de bases, ou por condições de pedogênese e acúmulo residual de alumínio. Além disso, os solos cultivados podem ter sua acidez aumentada por erosão, extração de cátions básicos pelas culturas e lixiviação de cátions básicos e adubação. A elevada acidez de grande parte dos solos tropicais, em função do elevado intemperismo, condiciona uma alta atividade do alumínio na solução do solo e uma deficiência de cálcio, magnésio e fósforo.

A calagem consiste na aplicação e incorporação de calcário à camada arável do solo, que é a área de maior concentração de raízes, visando à correção da acidez do mesmo, a neutralização do alumínio, tóxico às plantas, e o incremento nos teores de cálcio e magnésio. Isto proporciona o estímulo à atividade microbiana, a melhoria da fixação simbiótica de nitrogênio pe-

las leguminosas e, ainda, o aumento da disponibilidade da maioria dos nutrientes para as plantas.

Em solos de regiões tropicais, a atividade de alumínio é alta e sua solubilidade decresce com a elevação do pH do solo, alcançando valores mínimos a pH próximo à faixa 5,5 – 6,0 voltando a se solubilizar em valores de pH acima de 8,0. Em função disso, a calagem, além de fornecer cálcio e magnésio, visa elevar o pH do solo, diminuindo a solubilidade do alumínio e reduzindo o risco de toxidez às plantas.

## **1.2 | Materiais corretivos da acidez do solo**

Os calcários representam a quase totalidade dos corretivos empregados no Brasil. O Espírito Santo dispõe de grandes jazidas de calcários cristalinos puros e de calcários magnesianos que abastecem, praticamente, todo o território capixaba, além de estados circunvizinhos. As reservas localizadas no sul do estado, que representam mais de 99% do total, ocorrem no prolongamento e na direção nordeste das jazidas do estado do Rio de Janeiro, aflorando, principalmente, nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim, São José do Calçado, Mimoso do Sul e Castelo (DADALTO; FULLIN, 2001).

Em solos tropicais, para que os fertilizantes aplicados tenham maior eficiência, é necessária a correção da acidez do solo, que é realizada através da aplicação de calcário ao mesmo (calagem). Entretanto, existem materiais corretivos alternativos, como o resíduo oriundo do corte de rochas ornamentais (R.O.), que possuem potencial de utilização como corretivos da acidez do solo, somando-se, ainda, com a possibilidade de fornecer um destino viável a esses resíduos, à medida que constitui, atualmente, um sério problema ambiental, com preocupação com o

estoque e manuseio destes nos pátios das empresas. Esses resíduos ocupam áreas de descarga cada vez maiores, além dos inconvenientes ecológicos, principalmente para o Estado do Espírito Santo, que é o maior produtor de R.O. do Brasil, e especificamente para a cidade de Cachoeiro de Itapemirim, que atua como polo de produção e extração de R.O.

Nesse contexto, as atividades agrícolas apresentam reais possibilidades de reciclagem e integração desses subprodutos produzidos pelo setor, desde que os mesmos apresentem características corretivas e/ou fertilizantes e que não possuam potencial contaminante (por exemplo, metais pesados) para o solo ou recursos hídricos.

### 1.3 | Rochagem

A rochagem ou 'remineralização' são termos utilizados para designar uma técnica de fertilização natural capaz de contribuir para recompor os nutrientes necessários à produção e associada à qualidade, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação, ou pelo uso inadequado e intensivo. É um processo alternativo ou complementar de adubação, que consiste na adição de pó-de-rocha para aumentar a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente.

A utilização direta de resíduos de rochas *in natura* exige, para a disponibilização dos nutrientes presentes nessas rochas, um período de tempo longo que é diminuído em condições climáticas das regiões tropicais em virtude da ação mais intensiva do clima e de organismos que aumentam a velocidade dos processos de alteração das rochas em comparação com a de climas temperados.

A aplicação de resíduos de rocha em ambientes de climas tropicais pode apresentar muitas vantagens em relação a ambientes temperados. A taxa de dissolução dos minerais e a reação entre superfícies minerais e solução de solo são extremamente acentuadas, em função de altas temperaturas e regimes de umidade. Soma-se a estes fatos o potencial de aplicação desses materiais, que é extremamente vantajoso devido às altas taxas de intemperismo e lixiviação, o que torna tais ambientes altamente receptivos à adição de nutrientes (VAN STRAATEN, 2006). Embora, em alguns países em climas temperados, o uso da rochagem se torne uma prática comum, (por exemplo, Portugal), há muitos poucos resultados publicados da rochagem desenvolvidos em países tropicais.

Resíduos de rocha como o granito, por exemplo, que é especialmente rico em potássio devido à sua riqueza em feldspatos potássicos, podem apresentar grande potencial como fontes de potássio ao solo. O resíduo de mármore, essencialmente constituído de carbonato de cálcio e magnésio, possui teores mais elevados nesses elementos. Algumas vantagens da utilização dos resíduos de rochas são a correção do pH, o fornecimento de nutrientes e seu efeito residual prolongado (HARLEY & GILKES, 2000; LEONARDOS *et al.*, 2000; HINSINGER *et al.*, 2001).

Por outro lado, dentre suas mais sérias restrições está a lenta solubilização dos minerais presentes nas rochas (HARLEY & GILKES, 2000) e, portanto, a lenta liberação dos nutrientes às plantas. Entretanto, resultados negativos estão comumente associados a experimentos em clima temperado e de curta duração (HINSINGER *et al.*, 2001).

O fato de o estado do Espírito Santo dispor de uma grande quantidade de resíduo de rochas ornamentais, principalmente de granito e mármore, em seus pátios, do passivo ambiental que esses resíduos ocasionam, da possibilidade de sua utilização agrícola, como subproduto de baixo custo, fazem o estudo do potencial desses materiais para emprego na agricultura especialmente importante.

Nesse sentido, uma articulação do setor agrícola e de rochas ornamentais para o reaproveitamento dos subprodutos com potenciais agronômicos torna-se uma saída sustentável para o desenvolvimento agrícola da região capixaba. Com isso, pode-se aumentar os ganhos na produção agrícola, principalmente em pequenas propriedades, a menores custos, uma vez que esses resíduos podem trazer resultados positivos na fertilidade do solo, juntamente com a diminuição do problema ambiental relacionado à disposição final desses resíduos. Porém, a escassez de informações básicas sobre a utilização e a eficiência agronômica desses resíduos minerais de origem regional torna-se o gargalo para o possível desenvolvimento de um arranjo produtivo sustentável entre agricultura e indústria de rochas ornamentais.

Soluções regionais devem ser direcionadas a problemas regionais. A potencialidade de utilização dos resíduos de rochas ornamentais do sul do estado do Espírito Santo para fins agrícolas está diretamente relacionada à variabilidade química e mineralógica do resíduo, em função do tipo e manuseio de solo, e do cultivo estabelecido na área.

## **2 | OBJETIVO**

Avaliar a aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais como corretivos da acidez do solo e/ou como fontes de nutrientes para as plantas.

## **3 | MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 | Coleta dos resíduos e do solo**

Foram coletadas amostras subsuperficiais (20 - 40 cm) de dois Latossolos (Latossolo Vermelho - LV e Latossolo Vermelho-Amarelo - LVA) no município de Alegre - ES.

Para os resíduos de rochas ornamentais, trabalhou-se com uma lama abrasiva oriunda do corte de mármore e granitos da região de Cachoeiro do Itapemirim – ES, que será denominado de resíduo de rocha e, com uma lama exclusiva do corte de mármore, que será denominada como resíduo de mármore.

### **3.2 | Caracterização dos solos e dos resíduos**

Os solos foram secos ao ar, passados em peneira com malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA), e posteriormente realizou-se procedimento para caracterização química e física.

Os resíduos foram secos em estufa, onde foram retiradas frações de 1 kg para as análises. A análise química do resíduo mineral foi realizada pela Coordenação de Análise Mineral (COAM) do CETEM.

#### **3.2.1 | Análises química e física**

As análises químicas e físicas dos solos foram realizadas no Laboratório de Química e no Laboratório de Física do solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (Tabela 2). Os corretivos foram analisa-



dos em relação ao Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) segundo EMBRAPA (1997).

### 3.3| Montagem e condução dos experimentos

Realizou-se realizados dois experimentos para avaliar a aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais, como corretivos da acidez do solo (experimento de incubação), e como fontes de nutrientes para as plantas (experimento com plantas de café arábica).

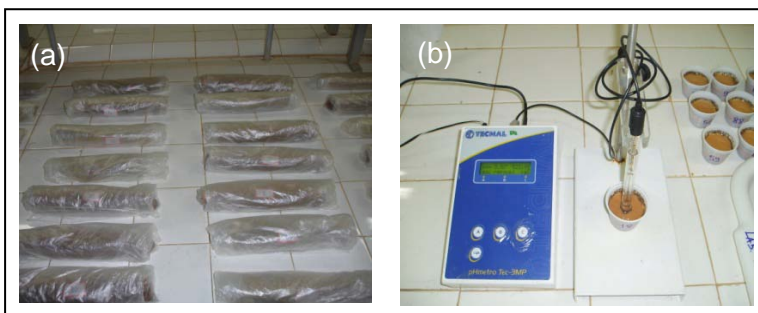
#### 3.3.1 | Experimento de incubação

Este experimento foi realizado em laboratório, e seguiu um planejamento fatorial  $2 \times 3 \times 5$  em que os fatores em estudo foram dois solos: Latossolo Vermelho (LV) e Latossolo Vermelho Amarelo (LVA); três tipos de corretivos da acidez do solo (Calcário, Resíduo de mármore e Resíduo de rocha) e cinco doses dos corretivos (0; 30; 60; 90; 120% da necessidade de calagem) com três repetições, totalizando 90 unidades experimentais. A necessidade de calagem foi determinada de acordo com Prezoti *et al.* (2007), a partir de prévia caracterização química dos solos (EMBRAPA, 1997).

Amostras de  $0,5 \text{ dm}^3$  de TFSA do solo foram acondicionadas e homogeneizadas em sacos plásticos onde se realizou a aplicação dos corretivos, de acordo com a dose estabelecida, sendo as amostras de solo umedecidas até atingir 60% do Volume Total de Poros (VTP), segundo Freire *et al.* (1980), e incubados durante 30 dias, para promover a reação do material corretivo com o solo. Os sacos plásticos foram fechados e amarrados com barbante para evitar perda de umidade. A cada

24 horas, os mesmos eram abertos para a eliminação do CO<sub>2</sub>, proveniente da reação de neutralização da acidez, e em seguida, eram novamente fechados para evitar a perda de umidade.

Decorridas 72 horas após a montagem do experimento, uma subamostra de cada saco plástico, contendo cerca de 20 cm<sup>3</sup>, foi retirada e deixada para secar ao ar, para obtenção da TFSA. Novas amostras foram retiradas ao 6º, 9º, 12º, 15º, 20º, 25º e 30º dia de incubação para medição do pH, cujos valores geraram a curva de pH, referente à incubação das amostras de solo com o material corretivo. Após secas, foram submetidas à medição do pH em água, por meio de um eletrodo combinado segundo EMBRAPA (1997) (Figura 1).



**Figura 1.** Amostras de solo incubadas (a) e medição do pH (b).

### 3.3.2 | Experimento com planta (Café Arábica)

Este experimento, realizado em casa de vegetação, seguiu um planejamento fatorial 2x2x5 em que os fatores em estudo foram: dois solos (LV e LVA); dois tipos de corretivo (calcário e resíduo de rocha) e cinco doses dos corretivos (0; 30; 60; 90; 120% da necessidade de calagem), com três repetições. A

necessidade de calagem foi determinada de acordo com Prezoti *et al.* (2007), a partir de prévia caracterização química dos solos (EMBRAPA, 1997).

Amostras de 10 dm<sup>3</sup> de TFSA do solo foram acondicionadas e homogeneizadas em sacos plásticos onde se realizou a aplicação dos corretivos, nas diferentes doses, sendo as amostras de solo umedecidas até atingir 60% do Volume Total de Poros (VTP), de acordo com Freire *et al.* (1980), e incubados durante 30 dias. Após este período, as amostras de solos foram secas e desagregadas (TFSA) para o manuseio e montagem do experimento.

Plantou-se uma muda de café arábica, por vaso, constituindo uma unidade experimental (Figura 2). A adubação (NPK e micronutrientes) foi realizada nos experimentos conduzidos em casa de vegetação, de acordo com Novais *et al.* (1991).



**Figura 2.** Vista parcial do experimento com plantas de café arábica (casa de vegetação).

O experimento foi conduzido por 150 dias, após o plantio das mudas. Ao fim deste período, as plantas foram coletadas, seccionadas a cerca de 1 cm do solo, e, em seguida, acondiciona-

das em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar na faixa de 65 a 72°C, quando se determinou o peso da matéria seca (MS). Avaliou-se a produção de matéria seca da parte aérea (folha e caule); teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio da parte aérea. Imediatamente após o corte das plantas, o solo de cada vaso foi seco ao ar, homogeneizado e passado em peneira de 2 mm, procedendo-se as seguintes análises: pH em água, cálcio, magnésio, conforme EMBRAPA (1997), buscando verificar as possíveis variações químicas e físico-químicas que ocorreram nos solos, em função dos tratamentos aplicados.

Para determinação dos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio da parte aérea, o material vegetal seco e moído foi submetido à digestão nitroperclórica, segundo Johnson & Ulrich (1959). O fósforo foi determinado pelo método de redução do fosfomolibdato pela vitamina C, modificado por Braga & Defelipo (1974). O potássio foi determinado por fotometria de chama. As determinações de cálcio e magnésio, tanto nas plantas como nos solos foram realizadas por espectrometria de absorção atômica AOAC (1975).

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 | Características físicas e químicas do solo

O resultado referente às diferentes análises química e física são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

**Tabela 1.** Composição do calcário e dos resíduos estudados (resíduo de mármore e resíduo de rocha).

Composição Elementar	Corretivos		
	Calcário	Resíduo de Mármore	Resíduo de Rocha
	----- dag kg <sup>-1</sup> -----		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-----	0,17	2,17
CaO	39,0	60,96	40,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-----	0,09	1,03
MgO	14,0	24,48	12,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-----	0,04	-----
SiO <sub>2</sub>	-----	2,7	9,5
K <sub>2</sub> O	-----	-----	0,49
PN	104,53	97,82	88,32
PRNT %	99,7	93,62	84,99

PN - poder de neutralização; PRNT – poder relativo de neutralização total.

**Tabela 2.** Características físicas e químicas das amostras dos solos.

Característica	LV	LVA
Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1/</sup>	241,3	354,4
Areia fina (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1/</sup>	90,1	131,2
Silte (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1/</sup>	95,0	17,3
Argila (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1/</sup>	444,7	445,3
Densidade de Partículas (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2/</sup>	2,63	2,63
Densidade do Solo (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>3/</sup>	1,04	1,2
pH-H <sub>2</sub> O <sup>4/</sup>	5,2	4,9
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>5/</sup>	0,8	0,7
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>5/</sup>	0	1,8
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>5/</sup>	0,1	0,4
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>6/</sup>	0,19	2,29
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>7/</sup>	0,94	3,03
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>8/</sup>	6,2	3,3
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>8/</sup>	6,36	5,62
V (%) <sup>10/</sup>	3	40,8
m (%) <sup>11/</sup>	80,6	23,4
K (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>12/</sup>	16	51
P (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>12/</sup>	0	10

<sup>1/</sup> Método da pipeta; <sup>2/</sup> Método da proveta; <sup>3/</sup> Método do balão volumétrico <sup>4/</sup> Relação solo-água 1: 2,5; <sup>5/</sup> Extrator KCl 1 mol/L; <sup>6/</sup> Soma de bases; <sup>7/</sup> CTC efetiva; <sup>8/</sup> Extrator Ca(Oac)<sub>2</sub> 0,5 mol/L pH 7,0; <sup>9/</sup> CTC a pH 7,0; <sup>10/</sup> Porcentagem de saturação por bases; <sup>11/</sup> porcentagem de saturação por alumínio; <sup>12/</sup> Extrator Mehlich-1; LV: Latossolo Vermelho; LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo.

(\*) um centimolc (10<sup>-2</sup> moles de carga) de um elemento químico é igual ao seu peso atômico dividido pela sua valência e dividido por 100. Por exemplo: 1 cmolc/dm<sup>3</sup> de Ca<sup>2+</sup> no solo é igual a 40,08 ÷ 2 ÷ 100 = 0,2004 g/dm<sup>3</sup> ou 200,4 mg/dm<sup>3</sup> de Ca<sup>2+</sup> no solo.

#### 4.1.1 | Análise granulométrica

Os solos estudados (LV e LVA) apresentam a mesma classificação textural (textura argilosa), segundo EMBRAPA (1999). Os teores de areia, silte e argila foram similares, como indica a Tabela 2, apesar de apresentarem características mineralógicas diferentes, observadas pelas colorações diferenciadas nos dois tipos de solos estudados.

#### 4.1.2 | Densidade do solo e de partículas

A densidade do solo (Ds) para o LV foi de  $1,04 \text{ kg dm}^{-3}$  e para o LVA, de  $1,20 \text{ kg.dm}^{-3}$ . O LV apresentou menor Ds devido, provavelmente, às menores quantidades da fração areia em relação ao LVA. Os resultados de densidade de partículas (Dp) para ambos os solos foi de  $2,63 \text{ kg.dm}^{-3}$  (Tabela 2). Este valor encontra-se próximo à Dp do quartzo, principal componente da fração areia, e ao feldspato, importante componente da fração silte, que é  $2,65 \text{ kg.dm}^{-3}$ . Esses valores apresentam-se em consonância aos valores encontrados por Reichardt & Timm (2004).

#### 4.1.3 | Análise química do solo

Observa-se que os solos estudados (LV e LVA) apresentam uma baixa disponibilidade de nutrientes (Tabela 2), refletindo a condição de formação e intemperismo desses solos. Ambos os solos apresentam pH baixo, valores médios de Al trocável em solução, baixos valores de cálcio e magnésio, juntamente com os demais nutrientes, segundo o Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Espírito Santo (PREZOTTI *et al.*, 2007), o que demonstra a necessidade de realização de correção da acidez do solo e adubação. Verifica-se, ainda, baixa

saturação de bases (V%) e baixa capacidade de troca de cátions (CTC).

## 4.2 | Análise dos corretivos

Os resultados de PRNT (Tabela 1) encontrados para os diferentes tipos de corretivos estudados foram 99,70% para o calcário, 93,62% para o resíduo de mármore e 84,99% para o resíduo de rocha. Como a granulometria do resíduo de rocha é maior, a sua ER é menor, o que faz, conseqüentemente, com que seu PRNT seja menor. Dentre as características dos corretivos da acidez do solo (Tabela 1), a eficiência relativa (ER), que depende da natureza geológica da rocha e do grau de moagem a que foi submetida, e o Poder de Neutralização (PN), que depende do tipo e teor de neutralizantes no corretivo, são as qualidades mais importantes do corretivo a ser avaliado. Estes dois parâmetros podem ser englobados num valor único que define a qualidade do corretivo, denominado de Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).

A quantidade de cálcio e magnésio dos corretivos estudados, expressa na forma de óxidos, foram apresentados na Tabela 1. Observa-se maiores concentrações de cálcio e magnésio no resíduo de mármore frente ao calcário e ao resíduo de rocha.

## 4.3 | Análises dos experimentos

### 4.3.1 | Experimento de incubação

Os valores de pH em água do solo, para cada corretivo e doses utilizadas, são apresentados nas Tabelas 3 e 4. Os resultados das análises de incubação mostram, de maneira geral, o au-



mento do pH com o aumento da dose do corretivo aplicado, já a partir da primeira coleta (3º dia), independentemente do corretivo utilizado.

De maneira geral, não foram observadas diferenças significativas para os valores de pH em água, em função dos tipos de corretivos estudados (calcário, resíduos de rocha e de mármore), fato este que demonstra a potencialidade de utilização dos resíduos como corretivos da acidez do solo (Tabelas 3 e 4).

A Figura 3 mostra os valores médios de pH do solo ao final de 30 dias de experimento, para os dois tipos de solo estudados, manifestando que todos os corretivos alternativos utilizados corrigiram a acidez do solo, demonstrando resultados promissores frente a utilização do calcário.

**Tabela 3.** Valor de pH (em água) do solo em função do tipo e dose dos corretivos utilizados, em diferentes tempos de coleta, para o Latossolo Vermelho (LV).

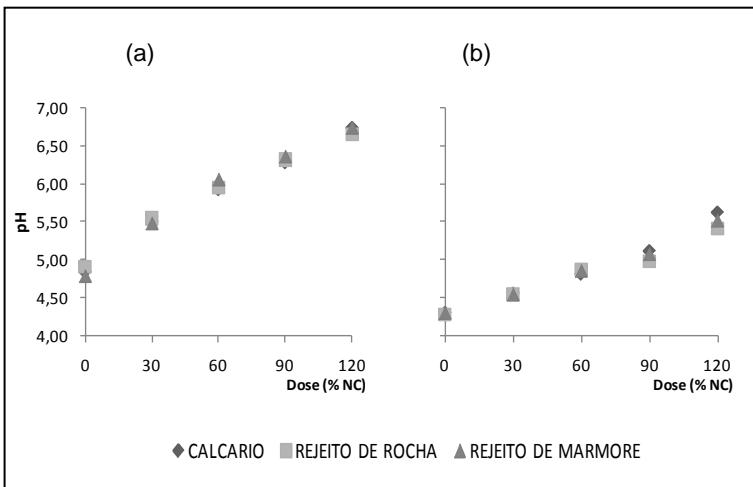
Corretivo	Dose (%NC)	Coletas							
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
Calcário	0	4,83	4,67	4,76	4,84	4,72	4,58	4,65	4,85
Calcário	30	5,33	5,25	5,27	5,44	5,36	5,47	5,26	5,51
Calcário	60	5,76	5,83	5,79	6,07	5,94	6,02	6,03	5,93
Calcário	90	6,08	6,19	6,20	6,51	6,32	6,40	6,31	6,28
Calcário	120	6,91	6,56	6,58	6,75	6,67	6,70	6,72	6,74
<b>Médias</b>		<b>5,82a</b>	<b>5,69a</b>	<b>5,72a</b>	<b>5,92a</b>	<b>5,80a</b>	<b>5,83a</b>	<b>5,79a</b>	<b>5,85a</b>
R. Rocha	0	4,75	4,72	4,70	4,92	4,75	4,67	4,73	4,92
R. Rocha	30	5,23	5,24	5,24	5,38	5,28	5,35	5,34	5,55
R. Rocha	60	6,01	5,76	5,78	5,88	5,81	5,84	5,92	5,96
R. Rocha	90	6,04	6,20	6,08	6,39	6,26	6,46	6,27	6,33
R. Rocha	120	6,47	6,36	6,45	6,65	6,65	6,59	6,50	6,66
<b>Médias</b>		<b>5,70ab</b>	<b>5,65a</b>	<b>5,64a</b>	<b>5,84a</b>	<b>5,75a</b>	<b>5,78a</b>	<b>5,75a</b>	<b>5,88a</b>
R. Marm.	0	4,75	4,77	4,70	4,89	4,78	4,67	4,70	4,79
R. Marm.	30	5,29	5,40	5,29	5,49	5,33	5,27	5,37	5,48
R. Marm.	60	5,74	5,82	5,77	6,04	6,01	5,85	5,90	6,06
R. Marm.	90	6,00	6,12	6,07	6,23	6,20	6,16	6,21	6,36
R. Marm.	120	6,32	6,27	6,42	6,56	6,47	6,49	6,64	6,74
<b>Médias</b>		<b>5,61ab</b>	<b>5,67a</b>	<b>5,65a</b>	<b>5,83a</b>	<b>5,75a</b>	<b>5,68a</b>	<b>5,76a</b>	<b>5,88a</b>

As médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. 1ª a 5ª coleta: 3 dias de intervalo; 6ª a 8ª coleta: 5 dias de intervalo; (% NC) - % da necessidade de calagem; R. Rocha - Resíduo de rocha; R. Marm. - Resíduo de Mármore.

**Tabela 4.** Valor de pH (em água) do solo em função do tipo e dose dos corretivos utilizados, em diferentes tempos de coleta, para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Corretivo	Dose (%NC)	Coletas							
		1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
Calcário	0	4,72	4,29	4,17	4,30	4,28	4,19	4,18	4,31
Calcário	30	4,56	4,49	4,42	4,54	4,57	4,42	4,50	4,57
Calcário	60	4,83	4,84	4,76	4,78	4,76	4,67	4,67	4,82
Calcário	90	5,27	5,05	4,96	5,09	5,02	4,99	5,08	5,12
Calcário	120	5,53	5,52	5,47	5,48	5,55	5,32	5,35	5,62
<b>Médias</b>		<b>4,98a</b>	<b>4,83a</b>	<b>4,75a</b>	<b>4,83a</b>	<b>4,83a</b>	<b>4,71ab</b>	<b>4,75a</b>	<b>4,88a</b>
R. Rocha	0	4,44	4,31	4,22	4,30	4,30	4,17	4,20	4,29
R. Rocha	30	4,68	4,52	4,52	4,55	4,52	4,43	4,52	4,56
R. Rocha	60	4,90	4,86	4,61	4,79	4,83	4,68	4,71	4,87
R. Rocha	90	5,10	5,07	4,95	5,15	4,99	4,91	5,10	4,99
R. Rocha	120	5,41	5,36	5,25	5,35	5,14	5,18	5,44	5,41
<b>Médias</b>		<b>4,90a</b>	<b>4,82a</b>	<b>4,70a</b>	<b>4,82a</b>	<b>4,75a</b>	<b>4,67ab</b>	<b>4,79a</b>	<b>4,82a</b>
R. Marm.	0	4,37	4,40	4,21	4,27	4,27	4,21	4,20	4,30
R. Marm.	30	4,61	4,61	4,52	4,56	4,52	4,38	4,45	4,54
R. Marm.	60	4,95	4,87	4,71	4,78	4,70	4,89	4,66	4,85
R. Marm.	90	5,11	5,05	4,93	5,14	4,89	5,20	5,03	5,07
R. Marm.	120	5,49	5,29	5,23	5,36	5,49	5,38	5,33	5,51
<b>Médias</b>		<b>4,90a</b>	<b>4,84a</b>	<b>4,72a</b>	<b>4,82a</b>	<b>4,77a</b>	<b>4,81a</b>	<b>4,73a</b>	<b>4,85a</b>

As médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. 1ª a 5ª coleta: 3 dias de intervalo; 6ª a 8ª coleta: 5 dias de intervalo; (% NC) - % da necessidade de calagem; R. Rocha - Resíduo de rocha; R. Marm. - Resíduo de Mármore.



**Figura 3.** Valores médios de pH em função da aplicação dos diferentes corretivos utilizados para o Latossolo Vermelho (a) e para o Latossolo Vermelho-Amarelo (b).

Segundo Natale e Coutinho (1994), na correção da acidez do solo dois fatores devem ser considerados: rapidez com que a acidez é corrigida e o tempo de duração do efeito da calagem. Desse modo, as partículas mais finas promovem rápida correção de acidez, e esse efeito perdurará pela ação das partículas menos finas, devido a sua solubilização mais lenta. O corretivo mais eficiente será aquele que promova a mais rápida correção da acidez e que tenha maior efeito residual. Essa eficiência é conseguida quando um material corretivo é composto por partículas de vários tamanhos.

A aplicação da dose de 90% da NC para todos os corretivos estudados foi suficiente para elevar o pH acima de 6,0, para o LV. A faixa de pH adequada para a maioria das culturas compreende valores entre 6,0 e 6,5.

As Tabelas 5 e 6 mostram os valores médios das quantidades de cálcio e magnésio no solo, provenientes da aplicação dos corretivos avaliados (calcário, resíduos de mármore e resíduos de rocha) durante a condução do experimento (5, 10, 20 e 30 dias após incubação). Nota-se que na primeira coleta, o calcário proporcionou maiores valores de cálcio, tanto para o Latossolo Vermelho (Tabela 5), como para o Latossolo Vermelho-Amarelo (Tabela 6). Este fato pode ser explicado pelo maior poder de reação do calcário frente aos demais corretivos estudados, avaliado pelo seu PRNT (Tabela 1).

Observa-se no LV, para a 4ª coleta (30 dias após incubação), teores de cálcio de 5,12, 4,92 e 4,62  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para o calcário, resíduo de rocha e resíduo de mármore, respectivamente, não diferindo, estatisticamente, entre si. E no LVA, 5,02; 4,82 e 4,75  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para o calcário, resíduo de rocha e resíduo de mármore, respectivamente, não diferindo, estatisticamente, entre si. Os teores de cálcio trocável encontrados foram classificados como altos, segundo Prezotti *et al.* (2007), com valores acima de 4,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para todos os corretivos utilizados, tanto para o LV quando para o LVA, conforme Tabelas 5 e 6.

No LV, os teores médios de magnésio trocável ao final de 30 dias foram classificados, segundo Prezotti *et al.* (2007), como alto, acima de 1,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , para o resíduo de mármore e médio, entre 0,5 e 1,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para o calcário e resíduo de rocha, cujos teores médios foram de 0,54  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ , 0,78  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e 1,09  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para calcário, resíduo de rocha e resíduo de mármore, respectivamente. Para o LVA os teores de magnésio trocável foram classificados, segundo Prezotti *et al.* (2007), como baixo, menor que 0,5  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  para o calcário, e médios, para os resíduos de mármore e de rocha utilizados, em que os teores encontrados no LVA, foram de 0,45  $\text{cmol}_c$

$\text{dm}^{-3}$ ,  $0,54 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  e de  $0,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para o calcário, resíduo de rocha e resíduo de mármore, respectivamente (Tabelas 5 e 6).

**Tabela 5.** Valores médios do cálcio e magnésio no solo para os diferentes tipos de corretivos (calcário, resíduo de mármore e resíduo de rocha) e em diferentes tempos de coleta para o Latossolo Vermelho.

Corretivo	Calcário	Resíduo de rocha	Resíduo de mármore
	----- $\text{Ca}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) -----		
1ª coleta	2,10a	1,69b	1,39c
2ª coleta	2,40a	1,40b	1,35c
3ª coleta	3,70a	3,50a	3,31a
4ª coleta	5,12a	4,92a	4,62a
	----- $\text{Mg}^{2+}$ ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) -----		
1ª coleta	0,43c	0,64b	0,71a
2ª coleta	0,41c	0,67b	0,91a
3ª coleta	0,45c	0,70b	0,98a
4ª coleta	0,54c	0,78b	1,09a

Médias seguidas da mesma letra, na linha, para cada coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. 1ª coleta: 5 dias após incubação; 2ª coleta: 10 dias após incubação; 3ª coleta: 20 dias após incubação; 4ª coleta: 30 dias após incubação.

**Tabela 6.** Valores médios do cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no solo para os diferentes tipos de corretivos (calcário, resíduo de mármore e resíduo de rocha) e em diferentes tempos de coleta para o Latossolo Vermelho Amarelo.

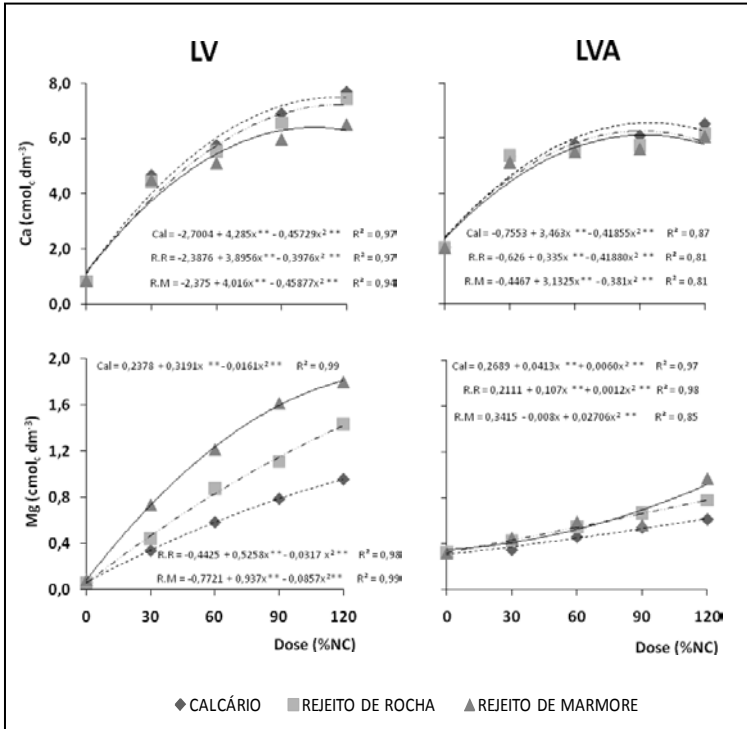
Corretivo	Calcário	Resíduo de rocha	Resíduo de mármore
----- $\text{Ca}^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			
1ª coleta	1,51a	1,27b	1,26b
2ª coleta	1,81a	1,39b	1,44b
3ª coleta	3,21a	3,44a	3,33a
4ª coleta	5,02a	4,82a	4,75a
----- $\text{Mg}^{2+}$ (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) -----			
1ª coleta	0,33b	0,39b	0,51a
2ª coleta	0,31b	0,37b	0,48a
3ª coleta	0,35c	0,43b	0,50a
4ª coleta	0,45c	0,54b	0,62a

Médias seguidas da mesma letra, na linha, para cada coleta, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. 1ª coleta: 5 dias após incubação; 2ª coleta: 10 dias após incubação; 3ª coleta: 20 dias após incubação; 4ª coleta: 30 dias após incubação.

Ao final do experimento, não se observou diferenças significativas para os valores médios de cálcio trocável nos solos estudados para todos os corretivos avaliados, o que apontou similaridade dos efeitos da aplicação do calcário frente aos resíduos utilizados, fato que corrobora a possibilidade de utilização dos resíduos como corretivo da acidez e fonte de cálcio.

Entretanto, observaram-se diferenças significativas para os valores médios de magnésio trocável extraído dos solos estudados (Tabelas 5 e 6), em todas as coletas, com valores superiores para o resíduo de mármore, o qual mostrou-se superior aos outros corretivos utilizados. Este fato é justificado

pele elevado valor deste elemento no resíduo de mármore (Tabela 1), que possibilitou maior incremento de magnésio trocável no solo.



**Figura 4.** Valores médios do cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) no solo para os diferentes tipos de corretivos (calcário, resíduo de mármore e resíduo de rocha) ao final de 30 dias de incubação para o LV e para o LVA. \*\*Significativo a 1% pelo teste F.

Na Figura 4, observa-se as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  nos solos estudados ao final do experimento, onde verifica-se que, de maneira geral, as concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  aumenta-



ram com a elevação da dose dos diferentes corretivos da acidez do solo em ambos os solos.

#### 4.3.2 | Experimento com planta (Café Arábica)

A produção de matéria seca e a concentração de nutrientes na planta e no solo, em função dos diferentes corretivos e doses aplicadas, nos LV e LVA, estão apresentados na Tabela 7. De uma maneira geral, não foram observadas diferenças significativas na produção de matéria seca total (MS), matéria seca do caule (MSC) e matéria seca da folha (MSF) do cafeeiro, em função do tipo de corretivo estudado.

Esses resultados reforçam a possibilidade da utilização dos resíduos de rochas ornamentais como corretivos alternativos para a correção da acidez do solo e, ainda, possibilitam a valorização econômica da indústria de rochas ornamentais, ao transformar resíduos em subprodutos. Em relação à concentração de nutrientes na planta e no solo, observou-se, ao final dos 150 dias de duração do experimento, para os solos estudados, diferenças significativas na concentração de magnésio no solo (MGS) e na planta (MGF e MGC), com valores superiores quando da utilização do resíduo de rocha frente ao calcário, para o LV. Para o LVA não houve diferenças significativas entre os corretivos para as variáveis analisadas. Este fato demonstra a possibilidade de utilização do resíduo de rocha como corretivo da acidez do solo e como fonte de cálcio e magnésio para as plantas, uma vez que, para este estudo, de maneira geral, não foram observadas diferenças significativas em relação ao calcário e, quando encontradas, o resíduo apresentou valores superiores e significativos.

**Tabela 7.** Produção de matéria seca e concentração de nutrientes na planta e no solo, em função dos diferentes corretivos utilizados e doses aplicadas para o LV e o LVA.

	LV		LVA	
	Calcário	Resíduo de rocha	Calcário	Resíduo de rocha
	-----g vaso <sup>-1</sup> -----			
MS	30,68b	34,57a	34,96a	37,89a
MSF	21,50b	24,35a	22,99a	24,68a
MSC	9,18a	10,22a	11,98b	13,22a
	-----g kg <sup>-1</sup> -----			
PC	2,68a	2,88a	2,71a	2,92a
PF	4,05a	4,09a	4,05a	3,90a
CAC	6,82a	7,04a	6,93a	7,13a
CAF	14,45a	14,07a	14,67a	13,79a
MGC	1,87b	2,24a	1,57a	1,45a
MGF	3,70b	4,09a	3,39a	3,43a
	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----			
CAS	1,77a	1,56a	1,53a	1,39a
MGS	0,66b	1,06a	0,54b	0,64a

LV-Latossolo Vermelho; LVA-Latossolo Vermelho-Amarelo; MS-matéria seca total; MSF-matéria seca na folha; MSC-matéria seca no caule; PC- teor de fósforo no caule; PF- teor de fósforo na folha; CAC- teor de cálcio no caule; CAF- teor de cálcio na folha; MGC- teor de magnésio no caule; MGF- teor de magnésio na folha; CAS- teor de cálcio no solo; MGS- teor de magnésio no solo; significativo 5% pelo teste F.

O incremento de produção de matéria seca (MS) observado para o LV, quando da utilização do resíduo de rocha, pode ser explicado com o aumento significativo do teor de magnésio no solo e, conseqüentemente, na planta. À medida que o resíduo de rocha possui relação Ca:Mg de 3:1 (Tabela 1), relação esta ideal para a nutrição do cafeeiro, está propicia um melhor desenvolvimento das plantas frente a esses nutrientes. O magnésio está presente na molécula de clorofila e também atua como ativador de enzimas, o que propicia melhor nutrição da

planta, além de ser um carreador de fósforo (Malavolta, 1980). Para o LVA, não foi observado este comportamento, possivelmente em função de seu maior teor de matéria orgânica, que acarreta maior efeito tampão, o qual refere-se à resistência que tem o solo para variar a quantidade de uma determinada característica (por exemplo, quantidade de nutriente em solução).

Baldotto *et al.* (2007) trabalhando com resíduo de mármore ( $\text{CaO} = 38,7 \text{ dag kg}^{-1}$  e  $\text{MgO} = 2,10 \text{ dag kg}^{-1}$ ) para a cultura do milho, não encontraram diferenças significativas para MS, cálcio e magnésio na planta. Este resultado está relacionado às características do resíduo utilizado como exemplo, à relação Ca:Mg, à eficiência relativa, à granulometria do resíduo, entre outros. Isso implica que, para a comparação de estudos dessa natureza, é necessário uma previa caracterização do material a fim de se obter uma melhor interpretação dos resultados.

Os teores de magnésio disponível no solo (MGS) foram superiores e significativos para o resíduo de rocha frente ao calcário, para ambos os solos estudados. Este fato está relacionado à maior quantidade de Mg no resíduo utilizado (Tabela 1), o que acarretou maior disponibilidade na solução do solo. Esta maior disponibilidade no solo proporcionou maior teor de magnésio na planta (MGC e MGF), para o LV. Para o LVA, em função de seu maior poder tampão, conforme comentado anteriormente, este fato não foi observado.

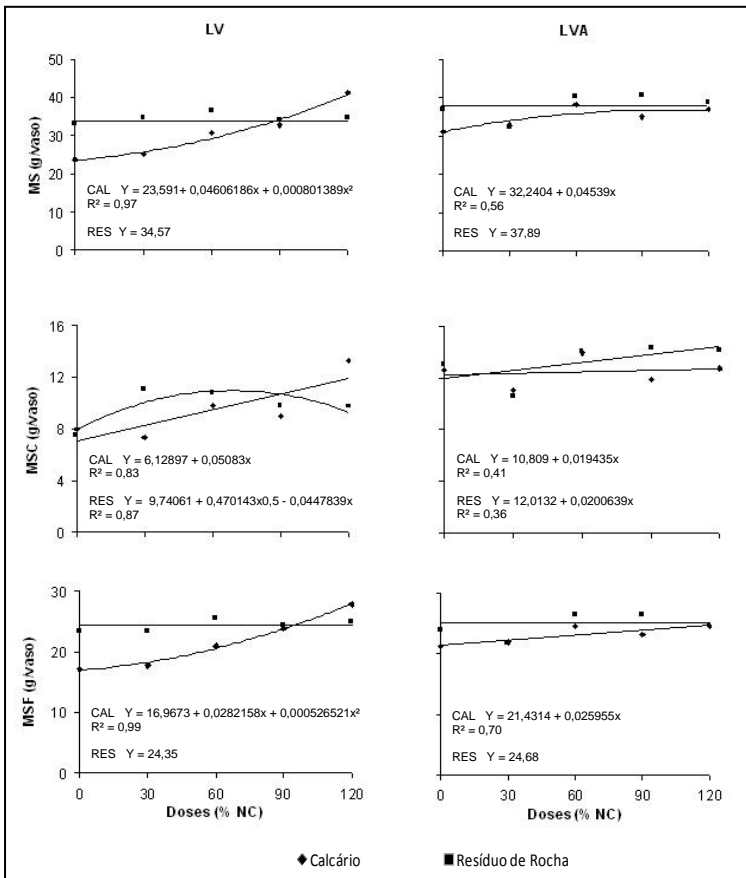
Não foram encontradas diferenças significativas para os valores de cálcio no solo (CAS) e na planta (CAC e CAF) em função da aplicação dos diferentes materiais corretivos, para ambos os solos estudados o que demonstrou o comportamento semelhante, na disponibilidade do cálcio no solo para a

planta, do calcário e do resíduo de rocha estudado. Resultados semelhantes foram encontrados para o fósforo.

### **Avaliação Nutricional das Plantas de Café Arábica**

No Latossolo Vermelho (LV), quando o corretivo utilizado foi o calcário, verifica-se que a aplicação de doses crescentes do mesmo promoveu um incremento na produção de matéria seca total (MS), matéria seca no caule (MSC) e matéria seca na folha (MSF) do cafeeiro (Figura 5). Contudo, quando o corretivo utilizado foi o resíduo de rocha, o uso de diferentes doses, para o LV, apresentou produção diferenciada somente na MSC, onde houve um incremento da produção até a dose de 60% NC, decrescendo a partir desta dose. Para a produção de MS e MSF do cafeeiro, o uso de diferentes doses de resíduo de rocha no LV não possibilitou a obtenção de modelos de regressão com ajustes satisfatórios.

Para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), a aplicação de diferentes doses de calcário proporcionou aumento no acúmulo de MS, MSC e MSF. Da mesma forma que ocorreu com o LV, a aplicação de doses crescentes do resíduo de rocha no LVA não influenciou, significativamente, a produção de MS e MSF do cafeeiro. Porém, o aumento de MSC foi observado com a aplicação de diferentes doses de resíduo de rocha no LVA, destacando-se dos resultados encontrados com a aplicação das doses de calcário (Figura 5).



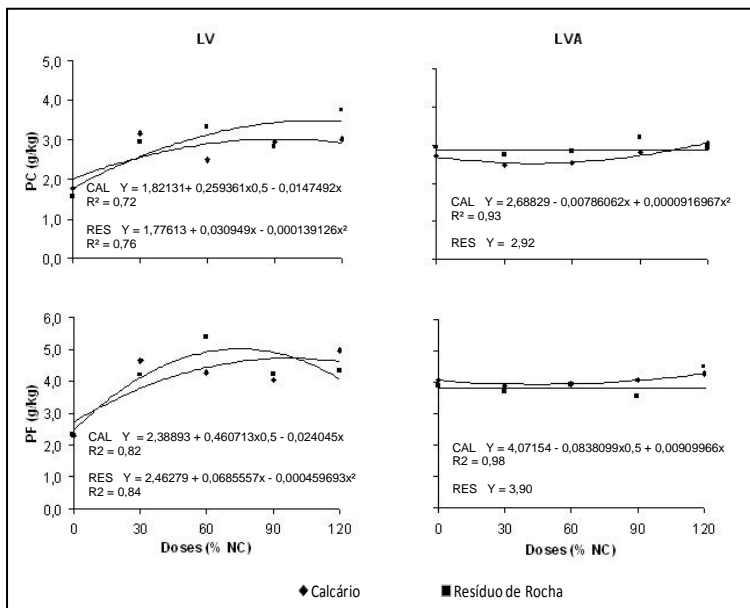
**Figura 5.** Produção de matéria seca total (MS), matéria seca no caule (MSC) e matéria seca na folha (MSF) do cafeeiro em função dos corretivos avaliados (calcário - CAL e resíduo de rocha - RES) para o Latossolo Vermelho (LV) e para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Os aumentos na produção de MS, MSC e MSF, tanto para o LV quanto para o LVA, ocorreram devido ao aumento do pH do solo, que condiciona o aumento na disponibilidade de outros

nutrientes, a neutralização do alumínio na solução do solo que é tóxico às plantas, o incremento nos teores de cálcio e magnésio, o aumento da atividade microbiana que proporciona a liberação de nutrientes contidos na matéria orgânica, favorecendo o desenvolvimento das plantas.

Os teores de fósforo (P) na parte aérea do cafeeiro aumentaram com a aplicação de diferentes doses de calcário e de resíduo de rocha, tanto no caule (PC) quanto na folha (PF), para o LV. As maiores concentrações de P na parte aérea do cafeeiro foram observadas com a utilização do resíduo de rocha, onde os teores máximos ocorreram nas doses de 111,2% da NC para o caule e de 71,3% da NC para a folha, diminuindo em seguida. As doses de calcário, aplicadas no LV elevaram os teores de P na parte aérea do cafeeiro, simultaneamente para o caule e para a folha, atingindo o ponto máximo na dose de 77,30% e 91,78% da NC, respectivamente. Tanto para o LV quanto para o LVA, os aumentos nos teores de fósforo ocorreram devido à correção da acidez que diminui a intensidade de adsorção de fósforo pelo solo, aumentando, assim, sua disponibilidade para as plantas (Figura 6).

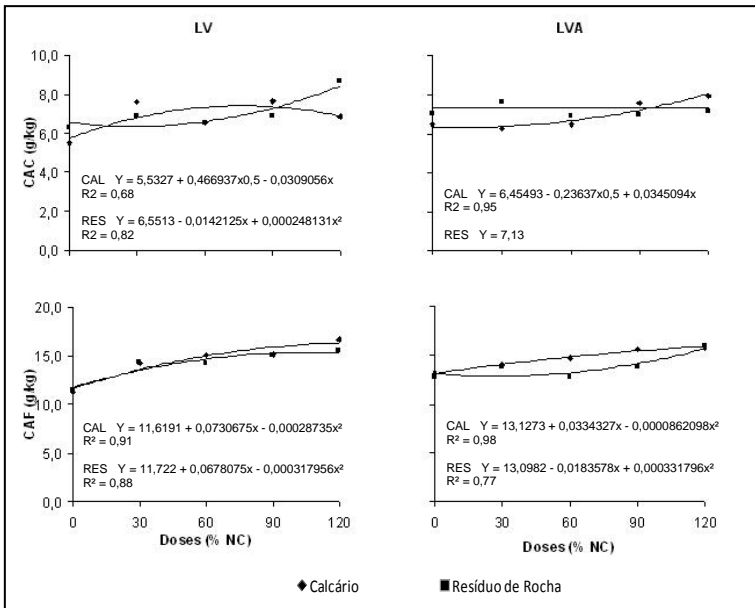
No LVA, as doses de resíduo de rocha aplicadas ao solo não apresentaram ajuste na equação de regressão para o P na parte aérea do cafeeiro (caule e folha). Já a aplicação de doses mais elevadas de calcário no LVA promoveu incremento dos teores de P no caule e na folha do cafeeiro (Figura 6). A concentração de P na parte aérea do cafeeiro se encontra acima daquela citada como adequada (entre 1,6 e 2,0 g kg<sup>-1</sup>.) por Prezoti *et al.* (2007).



**Figura 6.** Fósforo no caule (PC) e fósforo na folha (PF) do cafeeiro para o Latossolo Vermelho (LV) e para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sob aplicação de calcário (CAL) e resíduo de rocha (RES).

Os resultados demonstraram que existe diferença significativa entre as doses de corretivos usadas no experimento para o cálcio no caule (CAC) e cálcio na folha (CAF), conforme Figura 7. A aplicação de calcário e a aplicação de resíduo de rocha proporcionaram concentrações CAC menores que as concentrações de CAF para os dois solos em estudo. A concentração de CAC aumentou com o uso do calcário até a dose de 57% da NC para o LV, decrescendo em seguida. Já para o LVA, o uso do calcário como corretivo provoca um aumento nos teores de CAC até a dose de 120% da NC. A concentração de CAF aumenta com as doses de calcário aplicadas simultaneamente no LV e no LVA. A aplicação de resíduo de rocha promoveu in-

cremento dos teores de CAC e CAF para o LV e de CAF para o LVA, não sendo significativo o aumento da concentração de CAC para o LVA. Os teores estão em consonância com os resultados encontrados na literatura para esse elemento, considerada adequada, a qual deve estar entre 10 a 15 g kg<sup>-1</sup> para teores foliares, segundo Prezoti *et al.* (2007).



**Figura 7.** Cálcio no caule (CAC) e cálcio na folha (CAF) do cafeeiro para o Latossolo Vermelho (LV) e para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sob aplicação de calcário (CAL) e resíduo de rocha (RES).

A aplicação de diferentes doses de resíduo de rocha no LV promoveu aumento linear na concentração de magnésio no caule (MGC) e um aumento do teor de magnésio na folha (MGF) até a dose de 81,4% da NC (Figura 8), sendo que para os dois parâmetros de avaliação (MGC e MGF), as concentrações de

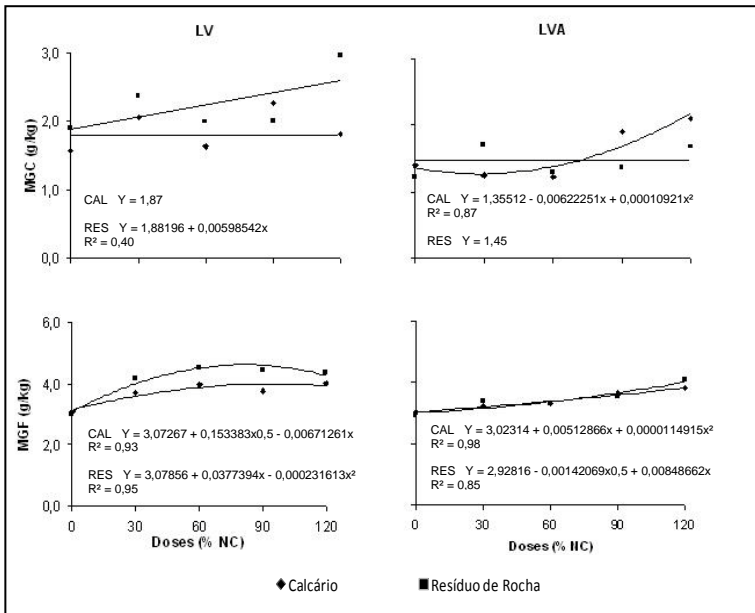


Mg foram maiores com a aplicação de resíduo de rocha do que com a aplicação de calcário, devido ao maior teor de óxido de magnésio (MgO) contido no resíduo, conforme Tabela 1.

No LV, quando o corretivo utilizado foi o calcário, só houve ajuste de modelo de regressão com coeficiente significativo para os teores de MGF, com incremento dos teores de magnésio e com o aumento das doses deste corretivo aplicadas.

Para o LVA, observou-se aumento dos teores de MGC com a aplicação de doses crescentes do corretivo, somente para o calcário. Não houve ajuste de equação para o resíduo de rocha. Para a concentração de magnésio na folha (MGF), o uso do calcário e do resíduo de rocha provocaram aumento crescente de seus valores de acordo com as doses utilizadas (Figura 8).

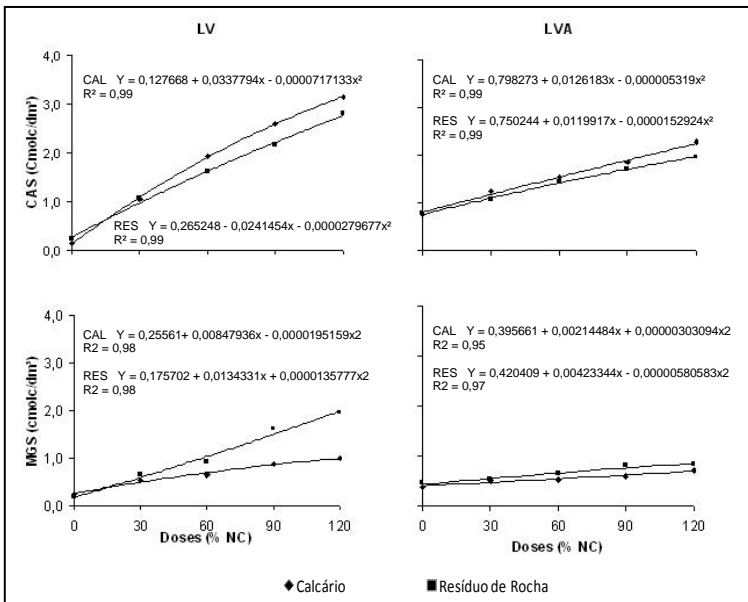
A concentração de magnésio encontrada nas folhas de café (café arábica) para todos os tratamentos foi considerada adequada para a concentração desse elemento, que segundo Prezoti *et al.* (2007), deve compreender valores entre 4 e 4,5 g kg<sup>-1</sup>.



**Figura 8.** Magnésio no caule (MGC) e magnésio na folha (MGF) do cafeeiro para o Latossolo Vermelho (LV) e para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sob aplicação de calcário (CAL) e resíduo de rocha (RES).

O cálcio no solo (CAS) apresentou aumento significativo para os resultados encontrados no LV e no LVA. Entretanto, para ambos os solos, esses valores obtidos foram maiores com o uso do calcário como corretivo. Em relação ao magnésio no solo (MGS), observa-se aumento de sua concentração com o uso do calcário e do resíduo de rocha para o LV, com destaque para o resíduo de rocha que apresentou maiores resultados. Para o LVA, o uso de calcário e o uso de resíduo de rocha como corretivos demonstraram um aumento discreto dos teores de magnésio na solução do solo (Figura 9).

Os aumentos de CAS e MGS, tanto para o LV quanto para o LVA se dão devido à grande presença desses nutrientes nos corretivos utilizados, como demonstrado na tabela 1. Os teores de CAS e MGS estudados são considerados, de maneira geral, médios para o CAS que deve estar entre 1,5 e 4,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e alto para MGS que deve ser maior que 1,0  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  (Prezoti *et al.*, 2007).



**Figura 9.** Cálcio no solo (CAS) e magnésio no solo (MGS) para o Latossolo Vermelho (LV) e para o Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), sob aplicação de calcário (CAL) e resíduo de rocha (RES).

## 5| CONCLUSÕES

Não há diferenças entre os resíduos estudados e o calcário quanto ao tempo de reação no solo e a efetividade em elevar o pH do solo.

A adição dos resíduos aumentou os teores de cálcio e magnésio trocáveis no solo. Não houve ocorrendo diferenças entre o calcário utilizado.

Os resíduos oriundos do corte das rochas (mármore puro e granito + mármore) estudados apresentaram potencial de utilização como corretivos da acidez do solo para os solos estudados.

Não houve diferenças nos teores de cálcio e fósforo, no solo e na planta, para a utilização do resíduo de rocha e o calcário utilizados.

O resíduo de rocha utilizado acarretou maiores teores de magnésio trocável no solo e magnésio na planta, para ambos os solos, em comparação ao calcário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo, SP: ANDA, 1992. (Boletim Técnico nº 6).
- ALCARDE, J.C.; RODELLA, A.A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: Tópicos em ciência do solo. Vol. III. Viçosa, MG: SBCS. 2003. p. 291-334.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official methods of analysis. 12.ed. Washington, 1975. 1094p.
- BALDOTTO, M. A.; ASPIAZU, I.; SILVA, A.P.; CORREA, M.L.T.; ALVAREZV, V.H. Potencialidade agrônômica do resíduo de rochas ornamentais. Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia, v. 3, p. 1-8, 2007.
- BIGARELLA, J.J., BECKER, R.D., SANTOS, G.F., PASSOS, E., SUGUIO, K. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Florianópolis, Ed. UFSC, 1994. 423p.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica e P em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo - 4ª aproximação. Vitória, ES: SEEA/ INCAPER, 2001, 266p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Ministério da Agricultura e do abastecimento: Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

FREIRE, J.C.; RIBEIRO, M.A.V.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. de. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras, MG. *Rev. Bras. Ci. Solo*, Campinas, v.4, n.1, p.5-8, jan./abr. 1980.

HARLEY, A.D. & GILKES, R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 11–36, 2000.

HINSINGER, P.; BARROS, O.N.F.; BENEDETTI, M.F.; NOACK, Y.; CALLOT, G. Plant-induced weathering of a basaltic rock: Experimental evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65: 137–152, 2001.

JOHNSON, C.M. & ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. Los Angeles, University of California, 1959. v.766. p.32-33.

KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma visão. *Geonomos*, Belo Horizonte, MG. v. 5, n. 1, p. 17-40. 1997.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H.; ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56: 3–9, 2000.

- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas/ São Paulo, SP. Editora Agronômica Ceres Ltda, 1ª edição, 1980. 251p.
- NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F.E.V.L. Fertilizantes e Sustentabilidade. O potássio na Agricultura Brasileira. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004 (Monografia).
- NATALE, W. & COUTINHO, E.L.M. Avaliação da eficiência agrônômica de frações granulométricas de um calcário dolomítico. Revista Brasileira de Ciências do Solo, 18:55-62,1994. Editora Viçosa/MG.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L. & BARROS, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D. & LOURENÇO, S. Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. EMBRAPA-SAE, Brasília, 1991. p.189-254.
- PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADATO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. de. Manual de recomendação de calagem e adubação para o Espírito Santo – 5ª aproximação. Vitória, ES, SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p.
- VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 78: 731-747, 2006.





## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2009, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-54 – **Aplicação de resíduos de mármore na produção de cosméticos.** Carolina Nascimento de Oliveira, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro e Joedy Patrícia Cruz Queiroz, 2010.

STA-53 – **Biolixiviação: utilização de micro-organismos na extração de metais.** Débora Morteiro de Oliveira, Eliana Flávia Camporenses Sérvulo, Luis Gonzaga Santos Sobral, Gabriel Henrique Costa Peixoto, 2010.

STA-52 – **Aplicação de resíduos de mármore na indústria polimérica.** Larissa Ribeiro de Souza, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Regina Coeli Casseres Carrisso, Luciana Portal da Silva, Elen Beatriz Acordi Vasques Pacheco, Leila Léa Yuan Visconte, 2009.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3867-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.

