

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**USO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE MÁRMORES
DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO COMO
CORRETIVO DA ACIDEZ DE SOLOS**

VALÉRIO RAYMUNDO

**Alegre
Espírito Santo – Brasil
Setembro de 2008**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**USO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE MÁRMORES
DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO COMO
CORRETIVO DA ACIDEZ DE SOLOS**

VALÉRIO RAYMUNDO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^a Dr^a Mirna Aparecida Neves

**Alegre
Espírito Santo – Brasil
Setembro de 2008**

USO DE RESÍDUOS DE SERRAGEM DE MÁRMORES DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO COMO CORRETIVO DA ACIDEZ DE SOLOS

VALÉRIO RAYMUNDO

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Aprovada: 30/09/2008

Dr^a Ana Candida Almeida Prado
Centro de Ciências Agrárias – UFES

Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima
Centro de Ciências Agrárias – UFES

Prof. Dr. Honório Coutinho de Jesus
Departamento de Química
Centro de Ciências Exatas – UFES

Dr. Marlon Dutra Degli Esposti
Instituto Capixaba de Pesquisa,
Assistência e Extensão Rural

Prof^a Dr^a Mirna Aparecida Neves
Centro de Ciências Agrárias – UFES
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho *in memoriam* do meu pai AMÂNCIO RAYMUNDO

Aos que trabalham na gestão de resíduos...

...catadores...

...recicladores...

...empreendedores, técnicos e pesquisadores...

...que se dedicam à vida desse mundo de segunda mão

...que sobrevivem minimizando os impactos da exploração dos recursos naturais, oportunizando um mundo melhor para as futuras gerações.

“A mente que se abre a uma idéia jamais voltará ao tamanho original.”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, em especial ao Prof. Dr. Ricardo Antonio Polanczyk, coordenador do Programa, pela oportunidade de concluir este curso.

À Prof^a Dr^a Mirna Aparecida Neves, pelo apoio e orientação, paciência, confiança depositada e pelo exemplo de conduta ética e dedicação.

Ao Prof. Dr. Paulo César Oliveira, pela orientação, confiança depositada e exemplo de conduta ética e racionalidade.

Aos membros da banca examinadora, Dr^a Ana Candida Almeida Prado, Prof. Dr. Julião Soares de Souza Lima, Prof. Dr. Honório Coutinho de Jesus e Dr. Marlon Dutra Degri Esposti, pela sabedoria compartilhada.

Aos amigos de Pós-graduação, em especial ao Eng.^o Agrônomo Msc Izaias dos Santos Bregonci, mestrando Marcos de Souza Neves Cardoso, Químico Msc José Júlio Garcia de Freitas e Eng.^o Agrônomo Msc Ângelo Antonio Campos, pelas horas de estudo e trabalho, que contribuíram para atingir a meta final.

Ao acadêmico da Geologia, meu primo Arthur Bazoni da Fonseca, e da Agronomia, Simone Paiva Caetano, do CCA-UFES, e ao Tecnólogo em Rochas Ornamentais, Cristiano Francisco dos Reis, do CET-FACI, pela dedicação e empenho nesta realização.

Aos técnicos dos laboratórios do CCA-UFES, Silvio, Benet Bernardo e Euziani; do NEDTEC, Alexandro e Elizangela; do LQA-Departamento de Química do CCE-UFES, Nádia Amorim e da Quimiplan, Eng.^o Químico Msc. Luiz Alberto Bandeira.

Ao SINDIROCHAS e SEBRAE, pelo apoio financeiro e oportunidade de desenvolver o Projeto “Caracterização de Rejeitos da Indústria de Beneficiamento de Rochas Ornamentais do Espírito Santo”.

Ao CETEM, onde interagi com grandes pesquisadores do setor mineral, em especial ao PHD Luiz Sobral, e a todo o pessoal do curso e turma de pós-graduação, pelo apoio e oportunidade de desenvolver soluções para desafios que só a Ciência aplicada pode contribuir.

À Prefeitura Municipal de Cachoeiro de Itapemirim e à Secretaria Municipal de Meio Ambiente, em especial ao Prefeito Roberto Valadão e à ex-Secretária Horlandezan Nippes Bragança, pela confiança, compreensão e apoio que me foram conferidos.

Às empresas de mineração e beneficiamento de mármore, em especial à Guidi Mármore, Mineração Capixaba, Mineração Santa Clara, Mineração Flório, Mocal e Sulcamar, pelos desafios oferecidos, motivação deste trabalho.

À minha mãe, irmãs e filhas Luiza e Eduarda, companheiras em momentos difíceis nesta fase da vida.

Ao amor de Maria Elvira, luz à minha vida.

Aos imprescindíveis do APL do Mármore e Granito do Espírito Santo, Chrispiniano Reis, Rubens Pupim, Edvaldo Ramos e Penha Lemos, pelo empenho e apoio para sustentabilidade ambiental no setor de rochas ornamentais.

A todas aquelas pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

BIOGRAFIA

Valério Raymundo, filho de Amâncio Raymundo e Dalbenes Silotti Raymundo, é natural de Cachoeiro de Itapemirim, ES.

Graduou-se em Agronomia em 1985, pelo Centro Agropecuário da Universidade Federal do Espírito Santo (CAUFES).

Atuou como Engenheiro Agrônomo na Prefeitura de Cachoeiro de Itapemirim na elaboração e implantação de projetos paisagísticos do Centro de Manutenção Urbana, remodelação da Praça de Fátima, implantação do viveiro de mudas municipal e técnico em agricultura orgânica no Centro de Cultura Natural Augusto Rusch – Hortão Municipal de Cachoeiro, de 1986 até 1995.

Foi professor de Física do Colégio de 2º grau Dr. Ruge Miguel de 1988 até 1996.

Fundou a SOS VERDE Assessoria Ambiental em 1997 e atuou como consultor ambiental de empresas de mineração de rochas ornamentais até 2005.

Atuou como Gerente de Gestão de Resíduos Industriais na Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Cachoeiro de Itapemirim em 2005 e no Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcário do Estado do Espírito Santo (SINDIROCHAS) em 2006 e 2007.

É pós-graduado (*latu sensu*) na área de Meio Ambiente: Gestão, Impactos e Soluções Tecnológicas pelo CETEM/MAGIST, Rio de Janeiro em 2006/07.

Atualmente, é Secretário Municipal de Meio Ambiente de Cachoeiro de Itapemirim e Presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim.

CONTEÚDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
LISTA DE ANEXOS.....	vii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	02
2.1. Gestão e legislação de resíduos da indústria de rochas ornamentais.....	02
2.2. O mármore do Espírito Santo.....	07
2.3. O processo de beneficiamento de rochas ornamentais.....	11
2.4. Contaminação por resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais...	14
2.5. Uso de calcário na agricultura.....	21
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1. Localização do experimento.....	28
3.2. Coleta e caracterização dos resíduos e do calcário comercial.....	28
3.3. Caracterização do solo utilizado no experimento.....	30
3.4. Definição das doses de corretivo e dos tratamentos.....	32
3.5. Preparação e procedimentos das unidades experimentais.....	34
3.6. Tratamento estatístico.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1. Análise mineralógica dos resíduos de mármore.....	36
4.2. Análise do Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT).....	37
4.3. Análise de metais pesados dos resíduos de mármore.....	38
4.4. Análise estatística experimental.....	39
5. CONCLUSÕES.....	66
6. REFERÊNCIAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esboço geológico e magmatismo granítico do Estado do Espírito Santo (Fonte: IPT, 1993).....	08
Figura 2 - Serra de Itaoca e Alto Gironda, municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Vargem Alta, Sul do Espírito Santo (extraído do GOOGLEMAPS, 2008).....	10
Figura 3 - Tear com sistemas de corte com movimento pendular do conjunto de lâminas de aço arrefecido com polpa abrasiva de granelhas de aço e cal (Cachoeiro de Itapemirim, ES – foto do autor).....	12
Figura 4 - Tear com sistemas de corte diamantado composto por conjunto de lâminas de aço com pastilhas de diamante industrial e arrefecido simplesmente com água (Cachoeiro de Itapemirim, ES – foto do autor).....	14
Figura 5 - Coletas de amostras para estudo de contaminação de solo na parede e na base de um depósito de resíduos recém-esvaziada (CAMPOS, 2007).....	15
Figura 6 - Visita técnica para estudo de avaliação de potencial dos resíduos de rochas ornamentais (foto do autor). Percebe-se a estratificação do material, denotando a grande variabilidade composicional do resíduo.....	16
Figura 7 - Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo (MALAVOLTA, 1989).....	24
Figura 8 - Pesagem das fontes de corretivo em balança analítica de precisão de 0,0001 g e incorporados no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em TFSA.....	34
Figura 9 - Disposição das unidades experimentais mantidas à sombra com os tratamentos de cinco dosagens das três fontes de correção em quatro repetições.....	35
Figura 10 - Análise mineralógica do rejeito de beneficiamento do Mármore Branco Capixaba.....	36
Figura 11 - Análise mineralógica do rejeito de beneficiamento do Mármore Pinta Verde.....	37
Figura 12 - Variação do pH, para cada corretivo, em função da dose (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	41

Figura 13 - Variação do Ca^{2+} em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	44
Figura 14 - Variação do Mg^{2+} em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	45
Figura 15 - Variação de SB em função da dose de corretivo. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	46
Figura 16 - Variação do V em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	47
Figura 17 – Variação do Al+H em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	49
Figura 18 - Variação do Fe em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student).....	50
Figura 19 - Variação do pH, para cada corretivo, em função da dose (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	53
Figura 20 - Variação do nível de Ca^{2+} em função da dose. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	55
Figura 21 - Variação do Mg^{2+} em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	56
Figura 22 - Variação de SB em função da dose de corretivo. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	57
Figura 23 - Variação do V em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	58
Figura 24 - Variação do Al+H em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	60
Figura 25 - Variação do teor de ferro em função da dose de corretivo. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises químicas em rochas localizadas na área da lente de mármore do Sul do Espírito Santo (PF = perda ao fogo; e RI = resíduo insolúvel) (CPRM, 1997).....	10
Tabela 2 - Composição química da lâmina de aço de serragem de rochas ornamentais em percentual (adaptado de LONGHAI, 2007).....	13
Tabela 3 - Composição química da granalha de aço, em percentual (adaptado de FREITAS, 2008).....	13
Tabela 4 - Teores totais de metais e pH das amostras originais de rejeito de dois processos de corte de rochas ornamentais (adaptado de FREITAS, 2008).	17
Tabela 5 - Composição química das diferentes lamas resultantes da indústria transformadora das rochas ornamentais (OLIVEIRA, 2005).....	18
Tabela 6 - Concentrações máximas permissíveis de metais em solos agrícolas para aplicação de resíduos domésticos/industriais na agricultura.....	21
Tabela 7 - Concentrações máximas permissíveis de metais em resíduos domésticos/industriais para uso agrícola.....	21
Tabela 8 - Valores mínimos do poder de neutralização (PN) e da soma dos teores de CaO e MgO de corretivos da acidez do solo (FULLIM e DADALTO, 2001).....	26
Tabela 9 - Classificação dos calcários agrícolas em relação ao Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) (FULLIM e DADALTO, 2001).....	27
Tabela 10 - Classificação dos calcários em relação ao teor de MgO (FULLIM e DADALTO, 2001).....	27
Tabela 11 - Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento e interpretação dos resultados.....	31
Tabela 12 - Dados do solo utilizados para o cálculo das dosagens aplicadas na Equação 2.....	33
Tabela 13 - Doses de corretivos recomendadas com base no PRNT e nas características do solo, definindo os diferentes tratamentos do experimento.....	33
Tabela 14 – Caracterização química e física dos materiais usados como corretivo.....	38

Tabela 15 – Análise de metais pesados (mg/kg). (LA = resíduo de corte com lâmina e granalha de aço; e LD = resíduo de corte com lâmina diamantada).....	38
Tabela 16 - Análise de variância dos atributos químicos: potencial de hidrogênio (pH), capacidade de troca catiônica (CTC) e cálcio (Ca) em função do corretivo (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações.....	39
Tabela 17 - Análise de variância dos atributos químicos: magnésio (Mg), soma das bases (SB) e saturação em bases (V) em função da fonte de correção (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações.....	40
Tabela 18 - Análise de variância dos atributos químicos: alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação de alumínio (m) e ferro (Fe) em função fonte de correção (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações.....	40
Tabela 19 - Valores médios de pH obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	41
Tabela 20 - Valores médios de CTC ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	42
Tabela 21 - Valores médios de CTC no solo (em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial).....	42
Tabela 22 - Teores médios de Ca^{2+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas por diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	43
Tabela 23 - Teores médios de Mg^{2+} ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	44
Tabela 24 - Valores médios de SB ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial).....	45

Tabela 25 - Valores médios de V (%) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	46
Tabela 26 - Teores médios de Al^{3+} ($cmol_e/dm^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	47
Tabela 27 - Teores médios de Al^{3+} no solo (em $cmol_e/dm^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial).....	48
Tabela 28 - Valores médios de H+Al ($cmol_e/dm^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	48
Tabela 29 - Valores médios de m (em $cmol_e/dm^3$) nas diferentes doses (DOSE)	49
Tabela 30 - Teores médios de Fe (mg/dm^3) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	50
Tabela 31 - Análise de variância dos atributos químicos: potencial de hidrogênio (pH), capacidade de troca catiônica (CTC) e cálcio (Ca) em função do corretivo (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações.....	51
Tabela 32 - Análise de variância dos atributos químicos: magnésio (Mg), soma das bases (SB) e saturação em bases (V) em função fonte de correção (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações.....	51
Tabela 33 - Análise de variância dos atributos químicos: alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação de alumínio (m) e ferro (Fe) em função fonte de correção (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações.....	52
Tabela 34 - Valores médios de pH obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	52

Tabela 35 - Valores médios de CTC ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	53
Tabela 36 - Valores médios de CTC no solo (em $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) nas diferentes dosagens (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial).....	54
Tabela 37 - Teores médios de Mg^{2+} ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	55
Tabela 38 - Valores médios de SB ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial).....	56
Tabela 39 - Valores médios de V (%) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	58
Tabela 40 - Teores médios de Al^{3+} ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	59
Tabela 41 - Teores médios de Al^{3+} no solo (em $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado, e CC – calcário comercial).....	59
Tabela 42 - Valores médios de H+Al ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE).....	60
Tabela 43 - Valores médios de saturação por alumínio (m), em %, para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses de corretivo, aos 30 dias após inoculação.....	61

Tabela 44 - Teores médios de m no solo (em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial).....	61
Tabela 45 - Teores médios de Fe ($\text{mg}\times\text{dm}^{-3}$) obtidos para as amostras de solo, aos 30 dias após incubação.....	62

LISTA DE ANEXOS

Tabela 1A – Análise química (8 dai)

Tabela 1B – Análise química (30 dai)

Tabela 2A - Concentrações máximas permissíveis de metais no biossólido para uso agrícola (TSUTIYA, 1999)

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

% F10-20	percentual da fração retido nas peneiras de malha (2 a 0,84 mm)
% F20-50	percentual da fração retido nas peneiras de malha (0,84 a 0,30mm)
%F<50	percentual da fração retida nas peneiras de malha (menor a 0,30mm)
ABIROCHAS	Associação Brasileira de Rochas
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CC	calcário comercial
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CFSEMG	Comissão de Fertilidade de Solos do Estado de Minas Gerais
$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$	centimol carga por decímetro cúbico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Recursos Minerais
CTC	capacidade de troca de cátions
Cwa	clima mesotérmico úmido
dai	dia após incubação
EEC	<i>European Economic Community</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ER	eficiência relativa

FCOR	fonte de corretivo
H+Al	acidez potencial
ICP/OES	<i>Elemental Analysis Spectrometers Inductively Coupled Plasma Spectro</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IsNa	índice de saturação de sódio
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LA	resíduo de mármore serrado com lâmina e granalha de aço
LD	resíduo de mármore serrado com lâmina diamantada
m	saturação por alumínio
Mesh	medida de malha de peneira
mg/dm ³	miligrama por decímetro cúbico
MOCAL	Moageira de Calcário Ltda
NBR	Norma Brasileira
NC	necessidade de calcário
NEDTEC	Núcleo de Difusão de Tecnologia em Recursos Hídricos e Florestais
PF	profundidade de calagem
pH	potencial hidrogeniônico
PN	poder de neutralização
PNDU	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
ppm	parte por milhão
PRNT	poder relativo de neutralização total
QC	quantidade de calcário
RE	reatividade
SAEG	Sistema para Análise Estatísticas
SB	soma de bases
SC	superfície de calagem
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas
SINDIROCHAS	Sindicato da Indústria de Rochas Ornamentais, Cal e Calcário do Estado do Espírito Santo
β_1	valor da variável da equação do modelo estatístico
TFSA	terra fina seca ao ar
U.S. EPA	<i>Environmental Protection Agency of the United States</i>
V	saturação por bases

RAYMUNDO, Valério, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, setembro de 2008. **Uso de Resíduos de Serragem de Mármore do Estado do Espírito Santo como Corretivo da Acidez de Solo**. Orientadora: Prof^a Dr^a Mirna Aparecida Neves.

RESUMO: Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm dedicado atenção especial no que se refere ao uso de resíduos visando à minimização dos impactos ambientais e sua transformação em subprodutos de outros processos produtivos. O grande volume de resíduos calcários gerados pela indústria de rochas ornamentais e a adoção do processo de corte do mármore em tear diamantado em substituição ao processo tradicional com granalha de aço, trouxe a oportunidade de aproveitamento desses resíduos como corretivo de acidez de solo agrícola. Este estudo teve como objetivo a comparação, em relação à capacidade de neutralização da acidez do solo, entre o uso de um resíduo de mármore serrado em tear diamantado, outro serrado em tear convencional e um calcário comercial de uso comum. O experimento foi montado no delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, utilizando um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e as três fontes de corretivos em quatro diferentes dosagens (75%, 100%, 150%, 300% e testemunha) de uma recomendação padrão de correção de solo, com quatro repetições. As unidades experimentais foram acondicionadas em sacos de polietileno, elevando a umidade do solo a 70% da capacidade de campo com água destilada. Foram analisados pH, P, K, Ca, Mg, Al, H, H+Al, Na e IsNa, e calculados SB, CTC, V e m. Os resíduos apresentam bom potencial para utilização como corretivo de acidez no caso estudado, com uma reatividade inicial superior à do calcário comercial. O risco de contaminação pela aplicação de resíduos de mármore no solo foi analisado em termos dos elementos As, Cd, Pb, Cr total, Hg, Ni e Se e todos estão abaixo dos limites estabelecidos pela U.S.EPA 40 CFR Part 503 (*Environmental Protection Agency – U.S.*).

Palavras-chave: rochas ornamentais, resíduos, mármore, agrominerais.

RAYMUNDO, Valério, M.Sc., Universidade Federal do Espírito Santo, October of 2008. **Use of marble cutting waste of Espírito Santo State as corrective of soil acidity.** Advisor: Prof^a. Dr^a. Mirna Aparecida Neves.

ABSTRACT: In recent years, many researchers have dedicated special attention to the use of wastes aiming to minimize environmental impacts and their transformation in sub products of other productive process. The great volume of calcareous wastes generated by the covering stone industry and the adoption of diamond tear in marble cutting, substituting the conventional process that use granular steal, brought the opportunity of utilizing these wastes as corrective of soil acidity. This work aimed to compare, in relation to the capacity of neutralization of soil acidity, the use of waste marble cut in diamond tear and a commercial limestone commonly used in agriculture. The experiment was organized in a completely randomized design, in factorial scheme, using an oxisol mixed with four different doses of three kinds of corrective (75%, 100%, 150%, 300% and control), based in a standard recommendation, with four repetitions. The experimental units were storage in polyethylene bags, and the soil humidity was elevated up to 70% of field capacity using distilled water. The pH, P, K, Ca, Mg, Al, H, H+Al, Na and IsNa were analyzed and SB, CTC, V and m were calculated. The wastes show good potential to be used as corrective of soil acidity at the studied conditions, since the initial reactivity was higher than the commercial limestone. The risk of contamination due the application of marble wastes in the soil was analyzed determining the concentration of As, Cd, Pb, Cr total, Hg, Ni and Se and all of them are bellow the limits established by the U.S.EPA 40 CFR Part 503 (Environmental Protection Agency – U.S.).

Key-words: covering stones, waste, marble, agrominerals.

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Espírito Santo é o maior produtor brasileiro de rochas ornamentais, sendo responsável por 75% da produção nacional de mármore e mais da metade da produção de granitos. A importância do setor para a economia capixaba é inquestionável, mas as atividades de extração e beneficiamento das rochas podem trazer danos imensuráveis ao meio ambiente. Porém, o incentivo da utilização desses materiais em outros processos produtivos pode transformar resíduos em subprodutos, diminuindo as grandes quantidades que são atualmente depositadas em aterros e contribuindo com a minimização dos impactos ambientais.

Este trabalho foi realizado visando à investigação da aplicabilidade dos resíduos de serragem de mármore como corretivo de acidez de solo. São comparados dois tipos de resíduos gerados em diferentes processos de serragem de rochas carbonáticas da região de Cachoeiro de Itapemirim (ES) e um calcário comercial produzido na mesma região, originado do processo de moagem de rochas. São abordados aspectos associados à valorização do resíduo como corretivo da acidez de solo e como fonte de cálcio e magnésio, visando ao enriquecimento do solo em macro-nutrientes essenciais ao incremento da produção vegetal.

A justificativa do trabalho consiste em atender oportunamente à demanda ambiental das indústrias de beneficiamento de mármore do Estado do Espírito Santo, que atualmente assumem um Termo de Ajuste de Conduta (TAC) exigido pelo Ministério Público do Estado do Espírito Santo por não concluírem adequadamente sua gestão de resíduos no município de Cachoeiro de Itapemirim. É importante destacar que a demanda por corretivos agrícolas é grande na região, corroborando a necessidade de pesquisas direcionadas à utilização dos resíduos nesse setor.

As centenas de toneladas de resíduos calcários e de outras rochas da região de Cachoeiro de Itapemirim, que atualmente são depositados em fundo de vales, encostas e próximo a mananciais, possuem elementos essenciais para aplicação em solos carentes de fertilidade e dependentes da correção de acidez.

A Resolução CONAMA nº13 (CONAMA, 2002), que institui o Inventário de Resíduos Industriais, vem contribuir com a implementação de políticas públicas de gestão de resíduos. Neste sentido, torna-se importante a caracterização dos resíduos gerados, pois é fundamental qualificar e quantificar o volume de rejeito produzido pelas empresas, em especial as que processam mármore, buscando viabilizar a geração

de corretivos agrícolas para serem disponibilizados a programas de incentivo à calagem. Caso seja comprovado o potencial econômico de nutrientes desses materiais que hoje são denominados resíduos de rochas ornamentais, os mesmos podem se transformar em subprodutos com alto valor agregado.

O trabalho apresenta uma explanação sobre a gestão e legislação de resíduos de rochas ornamentais e, em seguida, são abordados temas referentes ao processo de serragem dessas rochas e as possibilidades de contaminação a partir dos resíduos gerados. Descreve-se a produção de mármore no Espírito Santo e a valorização de seus resíduos como alternativa econômica. O material e os métodos empregados na pesquisa são apresentados, envolvendo a coleta e preparação do material e a descrição do experimento conduzido para avaliar a capacidade de neutralização da acidez do solo com o uso dos resíduos de serraria e do corretivo comercial. Os resultados obtidos são apresentados juntamente com a discussão, sendo seguidos pelas conclusões e considerações finais.

O objetivo do trabalho foi comparar o poder de neutralização da acidez de solos de dois tipos de resíduos finos provenientes da serragem de mármore, produzidos por diferentes processos de corte, e um calcário comercial de uso consagrado no mercado. Pretende-se, dessa forma, fornecer subsídios para o aproveitamento como corretivo de acidez de solo a partir dos resíduos da industrialização de mármore, com características compatíveis com a legislação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Gestão e legislação de resíduos da indústria de rochas ornamentais

A economia mundial tem sido pautada em um desenvolvimento consumista que não se preocupa com a redução da quantidade de emissões de resíduos ao ambiente e que, aliado ao aumento da população, vem exercendo forte pressão sobre os recursos minerais não-renováveis e, conseqüentemente, sobre o equilíbrio ambiental do planeta.

De acordo com Scliar citado por Medina (2007),

"nos últimos 50 anos a economia mundial praticamente quintuplicou, o consumo de grãos triplicou e o consumo de papel cresceu além de seis vezes.

No entanto ainda hoje mais de 2,8 bilhões de pessoas sobrevivem com menos

de 2 dólares por dia, segundo dados publicados pelo PNDU no *Sustainable Consumption: a global status report*, de 2002".

Nos últimos anos, com a dificuldade da aplicação do conceito de Desenvolvimento Sustentável, tem-se discutido que as próprias políticas e os regulamentos ambientais podem ter um impacto negativo na competitividade das empresas, com conseqüentes implicações econômicas e sociais. Por esse motivo, devem ser adotados critérios técnicos adequados e uma política pública eficiente para estabelecer novas condutas e normativas regulamentando o balanço equilibrado das relações entre os fatores ambientais e as atividades industriais.

Nos países desenvolvidos, alguns princípios que norteiam as práticas de reciclagem são estabelecidos por força de legislação. Medina (2007) cita que o maior potencial de reciclagem dos produtos é resultado de um novo padrão de competitividade tecnológica, que inclui inovações ambientais; uma seleção de materiais direcionada por essa tendência global irreversível e um forte desenvolvimento de materiais de menor impacto ambiental ou "ecomateriais" e novos métodos de desenvolvimento de projetos: Eco-design, DFR – *Design for Recycling* e DFE – *Design for Environment*.

Por outro lado, o valor dos processos produtivos pode ser criado: melhorando a funcionalidade do produto e adequando-o ao serviço que presta; promovendo a concepção inovadora dos produtos e dos sistemas produtivos numa lógica global de todo o seu ciclo-de-vida, o que inclui o "eco-design" (concepção facilitadora da reutilização) e a eco-eficiência das organizações; e valorizando os materiais em fim de vida e reintegrando-os ao ciclo econômico (PEREIRA, 2006; MEDINA, 2007).

Apesar de todos os esforços e das novas considerações econômicas e políticas, a geração de resíduos sólidos tem aumentado no mundo inteiro, tanto em quantidade quanto em diversidade. A indústria de extração mineral é um exemplo deste desafio ainda por resolver: enorme e crescente consumo de recursos naturais não-renováveis associados a uma produção descontrolada de resíduos, tem levado à exaustão das melhores reservas, mais ricas em termos de teor de concentração de minérios e o deslocamento da atividade de exploração para jazidas que apresentam teores mais baixos, provocando maiores impactos ambientais, tanto pela movimentação dos terrenos, como pela geração de rejeitos para obtenção de igual quantidade de minério comercializável (MEDINA, 2007).

Por mais que se estabeleçam padrões de eficiência e critérios de gestão, como programas de gestão de qualidade (ISO-9000) estabelecidos pelas grandes

empresas nos anos 80, e a certificação ambiental (ISO-14000) com adoção de tecnologias limpas e política de reciclagem, a minimização dos impactos dos resíduos depende das características específicas de cada material. Os critérios devem ser estabelecidos a partir da análise do ciclo de vida do produto. No entanto, a legislação Européia, que tem um papel difusor nessa tendência, só estabelece critérios para os setores de embalagens, veículos e equipamentos eletrônicos, por meio de instrumentos legais e normativos da Comissão Européia aprovado pelo Parlamento Europeu (MEDINA, 2006).

No Brasil, segundo a Portaria nº 15 (CONAMA, 1996), a reciclagem é definida como reprocessamento dos resíduos num processo de produção para o fim original ou para outro fim.

A classificação dos resíduos sólidos é regulamentada pela norma técnica NBR 10.004 (ABNT, 2004a), de acordo com critérios de potenciais riscos oferecidos ao meio ambiente, da seguinte forma:

Classe I - Resíduos Perigosos: apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, toxicidade, reatividade e patogenicidade com riscos à saúde pública e ao meio ambiente;

Classe II A - Resíduos Não-Inertes: são aqueles que oferecem riscos de possíveis contaminações, como os biodegradáveis e solúveis;

Classe II B - Resíduos Inertes: os que não se decompõem em curto prazo.

A Indústria de Beneficiamento de Rochas Ornamentais caracteriza-se pela produção de elevadas quantidades de resíduos, dentre os quais, com marcada incidência, estão as lamas resultantes da fase de serragem dos blocos de rochas. O poder de contaminação desses resíduos é discutido adiante, no item 2.4.

As serrarias de rochas ornamentais estão fortemente representadas no Estado do Espírito Santo pela região de Cachoeiro de Itapemirim, maior pólo nacional de processamento e exportação de mármore e granitos. Embora a atividade seja muito importante em nível econômico e social para a população, tem-se assistido a graves problemas relacionados à gestão dos resíduos do setor.

O Inventário Nacional de Resíduos Industriais instituído pela Resolução nº 313 (CONAMA, 2002) vem como ferramenta fundamental para a implementação de políticas públicas de gestão de resíduos, além do processo de licenciamento, onde as empresas devem apresentar, em seu Plano de Gestão de Resíduos, a destinação correta dos mesmos.

O Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo (IEMA) estabelece critérios para o Licenciamento Ambiental dos empreendimentos geradores dos resíduos de rochas. Análises químicas e monitoramento do aterro industrial desses resíduos são condicionados por testes de solubilização e lixiviação para os seguintes atributos: ferro (Fe), cloretos, alumínio (Al), fluoreto, fenóis e metais pesados [cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), níquel (Ni), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb)]. Esses atributos também devem ser medidos no solo de base das células de aterro e as águas residuárias devem ser monitoradas em: volume, pH, alcalinidade, dureza, Fe solúvel, cromo (Cr), fenóis, cloretos, sódio (Na) e Al; além daqueles estabelecidos pela legislação vigente, quando constituintes dos insumos utilizados com normas estabelecidas pela Instrução Normativa nº 12/2007 e Instrução Normativa nº 19/2005 (IEMA, 2008).

Entretanto, ao longo de quase quatro décadas, esses resíduos têm sido acumulados em aterros superficiais a céu aberto e não controlados, interferindo na paisagem e na qualidade ambiental. Esses impactos estão na origem de problemas como a inutilização do solo, contaminação ou degradação da qualidade das águas, destruição da vegetação, ocupação de áreas de preservação permanente e áreas com potencial edificável e modificação da rede de drenagem superficial.

A Instrução Normativa do IEMA nº 19, de 17 de agosto de 2005, dispõe sobre a definição dos procedimentos de licenciamento das atividades de beneficiamento de rochas ornamentais e regulamenta a gestão de resíduos das indústrias, condicionando o armazenamento desse resíduo industrial desidratado a 30% de umidade para sua deposição no solo com permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s (IEMA, 2008).

Considera-se que, pelo fato das normas para gerenciamento e criação dos aterros de resíduos serem recentes, poucos locais já foram licenciados.

Atualmente, várias entidades têm se organizado, buscando credenciamento para efetuar a coleta, transporte e valorização dos resíduos e buscando possibilitar aos industriais a deposição adequada dos resíduos. Porém, muitas empresas ainda dispõem seus resíduos de forma não controlada em seus próprios terrenos ou pagam por serviços de coleta a empresas não licenciadas, caindo em situações de não conformidade com a lei.

Diante dessa situação, vários trabalhos (CUNHA et al., 1996; VILLASCHI FILHO e PINTO, 2000; PEYNEAU, 2004; PREZOTTI et al, 2004; VIEIRA, 2004; PEREIRA,

2006) se dedicam à busca por soluções economicamente viáveis de aproveitamento desses resíduos com tratamento adequado para se atingir o mercado e/ou selecionar um local controlado e seguro para a localização de um aterro de deposição comum.

A gestão efetiva dos resíduos industriais das diversas atividades de beneficiamento dos mármores e granitos, dentre outras rochas, ainda fica na dependência de um pré-tratamento para viabilizar seu aproveitamento ou de um armazenamento adequado em aterros industriais controlados, enquanto não se viabiliza seu aproveitamento.

A segregação dos resíduos na fonte geradora minimiza custos de tratamento e viabiliza seu aproveitamento como subprodutos para outras atividades.

Os custos inerentes à geração e manipulação dos resíduos (licenças ambientais, deposição, transporte e acondicionamento, multas, etc) devem ser naturalmente considerados para a futura avaliação da viabilidade econômica na solução de reciclagem do resíduo e na concepção de um novo produto. Uma das condições essenciais para viabilizar o novo produto no mercado é que este possa ter um preço de venda competitivo com a solução técnica já estabelecida, ou que haja um nicho de mercado para o qual o produto está direcionado e onde possa ter uma vantagem competitiva significativa (PEREIRA, 2006).

Com a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em tramitação no Congresso desde 1991, espera-se que a gestão de resíduos industriais seja facilitada e estendida para mais segmentos do sistema produtivo, tornando sustentáveis muitas atividades exploradoras dos recursos naturais.

Como exemplo, podemos citar o aproveitamento da calcita e dolomita segregadas nas lavras de mármore e absorvidas pela indústria moageira, que colabora com a minimização do impacto paisagístico provocado pela deposição de rejeitos na lavra e gera matéria-prima para diversos segmentos industriais.

Normalmente, a composição de um resíduo reflete sua fonte geradora revelando níveis variados de contaminação dependendo dos métodos de processamento e condições/variáveis de funcionamento. Muitos resíduos inertes têm sido usados como condicionadores de solo ou simplesmente destinados a aterros. Essas soluções merecem reservas legais e estratégicas acrescidas, tornando importante o desenvolvimento de pesquisas alternativas de reutilização ou reciclagem (PEREIRA, 2006).

A importância econômica dos resíduos industriais e de mineração deverá crescer nos próximos 20 anos diante de sua importância na sustentabilidade das minerações e operações industriais, na abertura de novos negócios e na reabilitação de minas antigas. A reciclagem nas proximidades dos grandes pólos industriais tenderá a agregar valor a esses materiais com o uso de tecnologias mais eficientes (CIMINELLI, 2007).

2.2. O mármore do Espírito Santo

Toda a produção de rochas carbonáticas do Estado do Espírito Santo provém de Cachoeiro de Itapemirim, Castelo e Vargem Alta, com rochas intercaladas bloqueando uma reserva geológica de aproximadamente 2 bilhões de metros cúbicos (Figura 01). Essas rochas são de granulação média a grossa, constituídas quase que totalmente por calcita, dolomita, quartzo e acessórios, tais como: diopsídeo, tremolita, flogopita, siderita e muscovita (IPT, 1993).

No setor de rochas ornamentais e de revestimento, o termo mármore é utilizado para designar todas as rochas carbonáticas, metamórficas ou não, capazes de receber polimento e lustro. O crescimento recente da participação relativa dos granitos foi determinado, pelo menos em parte, por sua maior durabilidade e resistência frente aos mármore, além dos padrões estéticos não tradicionais e possibilidades de paginação em pisos e fachadas (CHIODI FILHO, 2004).

Ainda assim, as rochas carbonáticas constituem a base para vários setores da economia como a construção civil e os setores químicos, sidero-metalúrgico e agrícola, dando projeção ao Espírito Santo no cenário mundial como maior produtor brasileiro de calcita e mármore.

Dados da ABIROCHAS (2008) indicam que os mármore compõem 45% da produção mundial de rochas ornamentais. Segundo Peiter e Chiodi Filho (2001), a produção total brasileira de rochas ornamentais e de revestimento supera 5,2 milhões de toneladas, sendo 3 milhões de toneladas de granitos, 1 milhão de toneladas de mármore e o restante referente à produção de ardósias, quartzitos foliados e pedra Miracema, dentre outros. Os principais estados produtores de mármore são o Espírito Santo e Bahia. O Espírito Santo responde por 75% da produção brasileira de mármore e o Estado da Bahia pela extração de mármore travertinos.

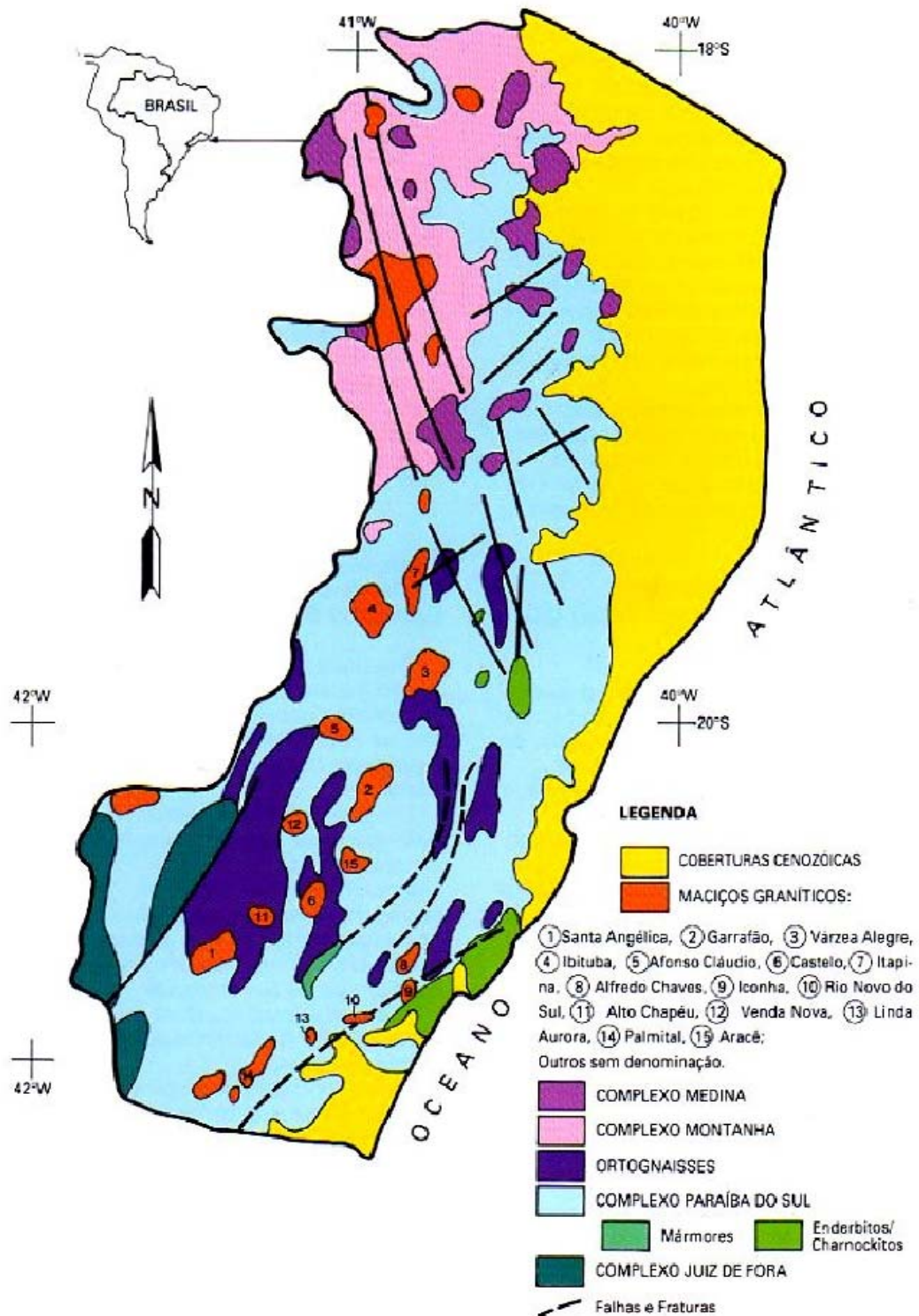


Figura 01 - Esboço geológico e magmatismo granítico do Estado do Espírito Santo (Fonte: IPT, 1993).

Sampaio e Almeida (2005) definem etapas da lavra de calcário a céu aberto como remoção do capeamento, perfuração, desmonte e transporte até a usina de processamento. A remoção do capeamento é o elemento chave no custo da lavra a céu aberto. Para cada operação ou situação, há uma razão estéril/minério economicamente viável.

Conforme Sampaio e Almeida (2005), as reservas de rochas carbonáticas com elevada pureza corresponde a menos de 10% das reservas lavradas em todo o mundo, com extrações a céu aberto denominadas de pedreiras. Estas podem ser caracterizadas na figura 02 das cavas de mármore com extração localizada no Sul do Espírito Santo, em lavras regulamentadas e atualmente em funcionamento nos municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Vargem Alta.

A exploração diferencia-se em cortes precisos sem fragmentação que se destina ao mercado de rochas ornamentais, como revestimentos, e as rochas particuladas e classificadas em calcita e dolomita, que atende como matéria-prima na fabricação de tintas, clareador de papel, vidros e cimentos, fonte de cálcio como redutor na obtenção de metais e desoxidante para ligas metálicas, como corretivo de acidez de solo e fonte de macro-nutrientes na forma de óxidos (CaO e MgO); é também usado como carga em indústrias de plásticos e borracha, que demandam produtos cada vez mais finos.

O consumo de energia aumenta significativamente com a moagem para obtenção de material com granulação ultrafina, necessária nesses processos produtivos. Tal dispêndio pode ser evitado com o aproveitamento de resíduos por meio da segregação dos carbonatos no processo de beneficiamento das rochas ornamentais. O Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (CPRM, 1997) define a reserva de mármore do Espírito Santo como uma megalente de mármore e duas outras menores encaixadas em biotita-anfibólio gnaisse, abrangendo as regiões de Itaoca, Gironda e Vargem Alta (Figura 2). O mármore, principal bem mineral dessas áreas, ocorre também sob a forma de mármore dolomítico e calcítico, sendo uma rocha compacta, maciça e de cor rosada (mármore rosa), cor cinzenta (mármore "champagne"), ou branca (mármore branco).



Figura 2: Serra de Itaoca e Alto Gironda, municípios de Cachoeiro de Itapemirim e Vargem Alta, Sul do Espírito Santo (extraído do GOOGLE MAPS, 2008).

As análises químicas do mármore dolomítico mostram alterações com cristalização de calcita e quartzo (sílica) em concentrações como se observa na Tabela 1.

Tabela 1 - Análises químicas em rochas localizadas na área da lente de mármore do Sul do Espírito Santo (PF = perda ao fogo; e RI = resíduo insolúvel) (CPRM, 1997)

ANÁLISES DE (%)	PF	RI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Si ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO ₂
mármore dolomíticos	45,16	1,52	0,34	0,03	0,02	34,64	18,26	-
mármore calcíticos	41,00	3,29	1,21	0,11	0,09	52,80	1,50	-
argilas presentes	-	-	65,59	17,69	-	-	-	6,61

A produção das moageiras de calcário para as indústrias químicas, siderúrgicas e outras depende de uma caracterização das rochas na frente de lavra, precedendo seu processamento. Tais análises são feitas em laboratórios das próprias indústrias, tendo como base as análises dos teores de sílica que, em alguns casos, são estimados na proporção aproximada de 70% dos Resíduos Insolúveis (RI) (conforme

informação pessoal de Crispiniano Reis, 2008). Os teores de óxidos de cálcio e magnésio são obtidos a partir de titulação ácida e são bases para diversos mercados, além das características físicas que geralmente se estabelecem com o tamanho das partículas e alvura.

As áreas de extração de mármore tendem a possuir vegetações endêmicas de grande importância biológica. Isso sugere a grande demanda de um planejamento ambiental, subsidiado por um bom zoneamento ecológico-econômico, em busca da preservação de resquícios de Mata Atlântica (FREITAS, 2008).

2.3. O processo de beneficiamento de rochas ornamentais

As principais etapas de produção no beneficiamento de rochas ornamentais são a serragem, que transforma os blocos em chapas, e o polimento e o corte para transformação das chapas em ladrilhos e outros produtos. O processo como um todo gera um volume de resíduos estimado em 0,10 m³ de efluente por tonelada de rocha transformada. Desses, 0,08 m³ são gerados na operação de serragem e 0,02 m³ na operação de polimento e corte (PEREIRA, 2006). Assim, considerando a produção atual aproximada de 8 mil m³ de mármore das frentes de lavra em funcionamento dos distritos de Itaoca e Gironda, no município de Cachoeiro de Itapemirim, e dos distritos de Jacigua e Prosperidade, no município de Vargem Alta, serrados em quase sua totalidade na região (segundo levantamentos do autor com empresários da região), são gerados mensalmente 1,85 mil m³ de efluente sob a forma de lama pastosa, considerando densidade de rocha carbonáticas 2,9 kg/dm³ (SOUSA e HOLANDA VIDAL, 2005).

Os processos de desdobramento dos blocos são executados por teares com sistemas diferenciados de corte: um processo que usa lâminas e granalhas de aço, atualmente mais convencional em função do custo e adequabilidade para qualquer tipo de rocha, e outro processo que usa discos, lâminas e fios com segmentos de pastilhas de diamante industrial, geralmente usado para mármore.

O sistema convencional de lâminas e granalha de aço são teares (Figura 3) constituídos com estrutura de quatro colunas que suportam mancais corrediços sustentando o movimento pendular do conjunto de lâminas. Estas lâminas, junto à polpa de serragem, causam o atrito no bloco de rocha, transformando-o em chapas ou placas semi-acabadas. Para aumentar a viscosidade da polpa, acrescenta-se cal

(óxido de cálcio) à polpa de serragem, ajudando a manter os fragmentos abrasivos em suspensão.

As lâminas sofrem desgaste com o tempo e o material que a compõe vai sendo agregado à lama de serragem. A Tabela 2 mostra a composição das lâminas de aço comumente utilizadas nos teares convencionais.

A mistura que compõe a polpa utilizada nos teares convencionais é composta por cal, granalha de aço e água, controlada continuamente por mecanismo automatizado ou manual. A granalha é constituída por grãos milimétricos facetados, compostos basicamente por Fe e porcentagens menores de outros elementos, conforme mostra a Tabela 3.



Figura 3 - Tear com sistemas de corte com movimento pendular do conjunto de lâminas de aço arrefecido com polpa abrasiva de granalhas de aço e cal (Cachoeiro de Itapemirim, ES – foto do autor)

Essa mistura é bombeada homogeneamente sobre os blocos, em todas as lâminas. Durante o processo de serragem, a composição da lama abrasiva passa por grandes variações em curto espaço de tempo devido ao atrito, que causa cominuição ou diminuição da granulação dos grãos de granalha, que perdem seu poder abrasivo.

A lama é então descartada, compondo um resíduo constituído por pó de rocha, finos metálicos provenientes do desgaste das lâminas e granalha de aço, além da cal ou substitutos.

Tabela 2 - Composição química da lâmina de aço de serragem de rochas ornamentais em percentual (adaptado de LONGHAI, 2007)

ELEMENTO / COMPOSTO	PORCENTAGEM (%)
carbono total (C)	0,62 – 0,73
manganês (Mn)	0,83 – 1,2
silício (Si) min.	0,20 – 0,40
fósforo max.	0,03
enxofre max.	0,04
alumínio	0,04
cromo (Cr)	0,10 - 0,25
níquel (Ni)	0,08 – 0,15
cobre (Cu) máx.	0,20
ferro (Fe) mín.	97

Tabela 3 - Composição química da granalha de aço, em percentual (adaptado de FREITAS, 2008)

ELEMENTO	PORCENTAGEM (%)
carbono	0,8 a 1,2
manganês	0,6 a 1,2
silício min.	0,4
fósforo max.	0,050
enxofre max.	0,050
ferro	97,2

Alencar et al. (1996) e Almeida (2002) afirmam que 95% do beneficiamento do mármore brasileiro é feito em teares convencionais que usam granalha de aço e apenas 5% é processado em teares diamantados e talha-blocos (Figura 4), caracterizando um grande atraso tecnológico, visto que no mundo inteiro praticamente 100% do mármore é beneficiado em teares de lâminas diamantadas ou talha-blocos.

Nos últimos anos, as principais empresas produtoras de mármore do país vêm alterando seus processos de corte para teares com lâminas diamantadas. As empresas da região de Cachoeiro de Itapemirim possuem atualmente capacidade

para processar mais de 1/3 dos mármore produzidos com sistema de corte em teares diamantados, representando, como já citado, 75% da produção nacional. A troca pelo sistema de corte diamantado aumentou significativamente o potencial de aproveitamento dos seus efluentes.



Figura 4 - Tear com sistemas de corte diamantado composto por conjunto de lâminas de aço com pastilhas de diamante industrial e arrefecido simplesmente com água (Cachoeiro de Itapemirim, ES – foto do autor).

2.4. Contaminação por resíduos de beneficiamento de rochas ornamentais

A área contaminada, de acordo com a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB, 2001) é o local onde há comprovadamente poluição ou contaminação, causada pela introdução de substâncias ou resíduos que nele tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados, de forma planejada ou acidental.

A contaminação do solo torna-se problema quando há uma fonte de contaminação, há vias de transferência de poluentes que viabilizam o alargamento da área contaminada ou há indivíduos e bens ameaçados por essa contaminação (CETESB, 2001).

Dois aspectos devem ser discutidos na abordagem da contaminação por resíduos de rochas ornamentais. O primeiro se refere à disposição dos resíduos no solo para descarte ou armazenamento. Nesse sentido, o meio físico no entorno deve ser monitorado, embora raramente esta atividade seja conduzida pelas empresas.

Os resíduos das indústrias de rochas ornamentais, geralmente lançados em lagoas de decantação desprotegidas podem comprometer o solo com a infiltração de metais pesados, contaminando o lençol freático. Porém, poucos trabalhos foram conduzidos para caracterizar o meio físico no entorno desses depósitos.

Campos (2007) demonstra, por meio de modelos matemáticos, que a movimentação vertical da água no substrato da lagoa de decantação é insignificante, o que pode ser consequência da ação selante que os resíduos podem exercer no solo devido à sua fina granulação (Figura 5).



Figura 5 - Coletas de amostras para estudo de contaminação de solo na parede e na base de um depósito de resíduos, recém-esvaziado (CAMPOS, 2007).

No entanto, é importante destacar que os fluxos horizontais nas camadas, bem como o escoamento superficial em épocas de chuvas não são impedidos, caso a disposição dos resíduos seja feita de forma inadequada.

Outro aspecto consiste no potencial de contaminação do material processado, avaliando a disponibilidade de metais pesados e dos efluentes do beneficiamento de rochas ornamentais, motivo da pesquisa proposta no Projeto Caracterização de Resíduos da Indústria de Beneficiamento de Rochas Ornamentais do Espírito Santo, financiado pelo convenio SINDIROCHAS / SEBRAE / UFES e executado pelo grupo de estudo de resíduos no qual este autor participa. O projeto, com encerramento previsto para novembro de 2008, surgiu a partir de discussões sobre a deposição estratificada nos aterros de resíduos das indústrias e com base em laudos técnicos emitidos por diversos laboratórios do arquivo do SINDIROCHAS. Constata-se um comportamento diferenciado de cada tipo de resíduo depositado e uma grande

variabilidade composicional da lama, que é influenciada pelos insumos utilizados e pela composição da rocha que está sendo serrada (Figura 6).



Figura 6 - Visita técnica para estudo de avaliação de potencial dos resíduos de rochas ornamentais (foto do autor). Percebe-se a estratificação do material, denotando a grande variabilidade composicional do resíduo.

A partir desse projeto, Freitas (2008) determinou, por meio de testes de lixiviação e solubilização, os teores de alguns metais e do pH de vários tipos de granitos e mármore serrados em Cachoeiro de Itapemirim (Tabela 4). O autor recomenda a modificação da disposição final, segregando resíduos de rochas carbonáticas das silicáticas, de forma que os mesmos não sejam misturados em valas de secagem como vem acontecendo, pois os resíduos perdem valor e aplicabilidade.

Os dados da Tabela 4 mostram a íntima relação com o tipo de rocha e o processo de corte. Constata-se elevados teores de alumínio nos resíduos de granitos, os quais são mais reduzidos nos resíduos de mármore. Os granitos, todos serrados com o sistema de lâmina de aço, adicionado de cal, geraram resíduos ricos em cálcio, mas nos mármore, os teores de cálcio são mais elevados, o que é explicado pela própria composição química da rocha carbonática.

O elemento ferro mostra relação com o sistema de corte. Os valores são elevados em todos os granitos serrados com lâmina de aço e é extremamente baixo no mármore serrado com lâmina diamantada. O último mármore, serrado com lâmina de aço, mostra o ferro não muito elevado, mas essas variações são comuns, já que a gralha tende a decantar e pode não ter sido incluída na amostra de lama coletada.

Tabela 4 - Teores totais de metais e pH das amostras originais de rejeito de dois processos de corte de rochas ornamentais (adaptado de FREITAS, 2008)

PROCESSO DE CORTE	ROCHA SERRADA	% Al	% Fe	% Cr	% Ca	pH original
Lamina de aço	Granito Branco Siena	4,4	3,3	0,007	1,9	12,46
Lamina de aço	Granito Verde Pavão	6,5	6,7	0,008	3,3	12,08
Lamina de aço	Granito Amarelo S.Francisco	4,9	10,0	0,054	4,7	12,80
Lamina de aço	Granito Amarelo Icarai	5,1	5,6	0,035	2,6	12,91
Lamina de aço	Granito Bege Ipanema	4,2	6,0	0,013	2,1	12,33
Lamina de aço	Granito Preto Aracruz	2,7	6,6	0,013	4,3	12,47
Lamina de aço	Granito Preto São Gabriel	5,0	8,1	0,010	5,7	12,07
Lamina de aço	Granito Ocre Itabira	4,5	9,2	0,017	3,8	12,75
Lamina de aço	Granito Amarelo Sta Cecília	5,2	6,5	0,048	2,4	12,80
Lamina de aço	Granito Giallo Napoleone	5,1	6,5	0,044	2,4	12,42
Lamina de aço	Granito Jade Green	4,1	6,5	0,032	2,9	12,66
Lamina de aço	Granito Cinza Andorinha	5,3	6,3	0,007	3,1	12,65
Lamina de aço	Granito Preto Florido	8,8	8,0	0,010	6,8	12,42
Lam.Diamantada	Mármore Branco Sulcamar	0,13	0,1	<0,001	25,5	9,02
Lamina de aço	Mármore Branco Capixaba	0,10	9,4	0,028	21,1	11,26
Lamina de aço	Mármore Branco Pinta Verde	0,04	1,7	0,002	23,0	10,67

Oliveira (2005) também verificou que amostras de lamas de mármore são bastante ricas em cálcio, quando comparadas com as de granito (Tabela 5). Além dessa, outras diferenças foram encontradas em elementos como o arsênio (As), o urânio (U), o Al e o Fe. No entanto, os valores apresentados por esses elementos estão abaixo dos teores máximos admissíveis de acordo com a Legislação Portuguesa Decreto Lei nº152/2002 Anexo III Tabela 2 que estabelece valores máximos de admissibilidade para aterros de resíduos Inertes, Não-Inertes e Perigosos.

As lamas resultantes da fase de corte são mais ricas em Cu, Mn, Zn, Sr, Ca, Fe e Sb, ou seja, majoritariamente metais inerentes à granalha de ferro. Já as lamas da fase de polimento são aparentemente mais ricas em Ni, Br e W, refletindo provavelmente a composição dos abrasivos usados na operação de polimento (OLIVEIRA, 2005).

Para Vieira Jr. (2001), os danos ambientais que freqüentemente estão associados aos efluentes gerados na serragem dos blocos estão relacionados com o alto conteúdo de sólidos totais, alto teor de ferro e elevado pH. Desta forma, pode ocorrer contaminação com o ferro e alteração significativa da qualidade da água, principalmente no reuso, devido ao seu grande poder corrosivo e depreciação de insumos e equipamentos.

Tabela 5 - Composição química das diferentes lamas resultantes da indústria transformadora das rochas ornamentais (OLIVEIRA, 2005) (RCG = resíduo do corte de granito; RPG = resíduo do polimento de granito; RCPM1 = resíduo do corte e polimento de mármore empresa 1; e RCPM2 = resíduo de corte e polimento de mármore empresa 2)

ELEMENTOS	RCG (mg/kg)	RPG (mg/kg)	RCPM1 (mg/kg)	RCPM2 (mg/kg)
Prata (Ag)	(a)	1,2	1,8	1,7
Cádmio (Cd)	(a)	(a)	1,1	1,1
Cobre (Cu)	63	18	2	6
Manganês (Mn)	490	222	61	60
Molibdênio (Mo)	8	1	(a)	(a)
Níquel (Ni)	44	91	3	3
Chumbo (Pb)	22	24	9	8
Zinco (Zn)	61	53	(a)	(a)
Berilo (Be)	5	7	(a)	(a)
Bismuto (Bi)	(a)	(a)	4	5
Estrôncio (Sr)	102	78	190	314
Vanádio (V)	12	9	(a)	5
Arsênio (As)	10,2	8,1	0,6	7,2
Bário (Ba)	335	310	(a)	(a)
Bromo (Br)	(a)	11,7	(a)	1,0
Cromo (Cr)	65	(a)	(a)	(a)
Háfnio (Hf)	3	9	(a)	(a)
Antimônio (Sb)	0,9	(a)	(a)	(a)
Urânio (U)	13,4	14,3	(a)	1,0
Tungstênio (W)	(a)	102	(a)	(a)
Alumínio (Al)	317	451	7	23
Cálcio (Ca)	253	94	2921	2883
Potássio (K)	335	367	6	9
Magnésio (Mg)	25	85	31	39
Fósforo (P)	9,1	10,6	0,4	0,4
Ferro (Fe)	341	98	8	27
Sódio (Na)	260	267	2	3

(a) – Valores abaixo do limite de detecção do aparelho.

Embora o elemento Fe esteja presente em altas concentrações em muitos dos resíduos aplicados ao solo, pouca atenção é dada à avaliação de sua disponibilidade em áreas contaminadas. Acredita-se que esse fato se deve à essencialidade do Fe às plantas, aos animais e ao homem, além da tolerância a altas concentrações e facilidade com que esse elemento reage no solo, tornando-o não disponível para as plantas.

Jesus (1996) estudou os resíduos de rochas ornamentais em termos de patogenicidade, obtendo resultado negativo, pois não se observou microorganismos ou toxinas (capazes de produzir doenças). Nos resultados obtidos para os ensaios de solubilização do resíduo, pôde-se constatar que o alumínio apresentou

concentrações superiores aos limites máximos estabelecidos pela NBR 10.004 (ABNT, 2004a), o que classifica o resíduo como sendo Classe II-A, ou seja, Não-Inerte. Nos resultados obtidos para os ensaios de lixiviação do resíduo, pôde-se perceber que nenhum dos constituintes apresentou concentrações superiores aos limites máximos estabelecidos pela norma.

Com relação ao uso dos resíduos, a contaminação ou o excesso de alguns elementos e/ou substâncias também podem trazer inconvenientes.

Sampaio e Almeida (2005) definem as impurezas como fatores limitantes ao aproveitamento econômico dos calcários. A alumina, em combinação com a sílica, encontra-se nos calcários sob a forma de argilominerais, embora outros aluminossilicatos em forma de feldspato e mica possam ser encontrados. A sílica, que ocorre como areia, fragmentos de quartzo e em estado combinado, como feldspato, mica, talco e serpentinito, produz efeitos nocivos ao calcário. Os compostos de ferro no calcário são prejudiciais à sua aplicação para vários fins industriais como: cerâmicos, tintas, papel, plásticos, borracha, além de outros. Na obtenção de cal, essas impurezas raramente são prejudiciais, desde que um produto final muito puro não seja exigido. Em geral, os compostos de ferro estão na forma de limonita (hidróxido férrico) e pirita. Hematita, marcassita e outras formas de ferro também são encontradas no calcário, porém são atípicas.

Os valores de pH estão associados à mobilidade de óxidos de Fe, Al e Mn, além do potencial redox responsável pelo comportamento e disponibilidade de elementos químicos no solo. Daí a importância das condições químicas do solo, pois essas características afetam diretamente as reações citadas e são os principais fatores que controlam as especiações dos elementos em solução de solo.

Metais pesados são elementos químicos que possuem peso específico maior que 5 g/cm³ ou número atômico maior do que 20. Entretanto, o termo é usado para elementos químicos que contaminam o meio ambiente, podendo ser metais, semi-metais e mesmo não metais como o selênio. Os principais elementos químicos que se enquadram nesse conceito são: alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco, que são encontrados naturalmente nos solos em concentrações inferiores àquelas consideradas tóxicas para diferentes organismos vivos. Entre esses metais, o arsênio, o cobalto, o cromo, o cobre, o selênio, o ferro e o zinco são essenciais para os organismos vivos (TSUTIYA,1999).

Beckett (1991) ressalta que os efeitos de toxidez de metais em plantas e animais apresentam diminuição de crescimento resultante de seqüência de eventos fisiológicos ao nível molecular, conduzindo à alteração celular e resultando na modificação do tecido. Os sintomas são generalizados e não em plantas isoladas, são mais acentuados em folhas mais velhas com manifestação simétricas.

Silva (2005), revisando vários trabalhos, encontrou teores de Fe considerados como críticos para ocorrência de toxidez de ferro, variando entre 30 e 500 mg.L⁻¹.

Apesar de o Fe ser um nutriente essencial à planta, seu teor na solução do solo pode atingir níveis tóxicos ao arroz. Segundo Sousa et al. (2004), a toxidez por Fe já foi constatada em lavouras de praticamente todos os estados produtores de arroz irrigado do Brasil.

Sousa et al. (2004), em estudo da calagem e disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento em solo de várzea, afirma que os teores de Fe aumentam durante a saturação devido a redução dos óxidos de ferro e posterior diminuição após o aumento de pH, que diminui a solubilidade dos compostos de Fe. Já Crouse (apud ANDRADE, 2000) apresenta o Fe como elemento não tóxico e vital para animais e plantas, responsável pelo transporte de oxigênio.

O Fe é um elemento naturalmente comum em solos e sedimentos. Pimentel (2001) encontrou o valor máximo de 6,135 % ou seja 61350 ppm de Fe nos sedimentos de corrente do Parque Itacolomi. Em estudos de sedimentos no Rio das Velhas (Ouro Preto – MG), comparando valores de referência sugeridos por Turekian (apud ANDRADE, 2000) de 9000 ppm para mares profundos, 9800 para arenito e 47200 ppm para folhelhos, conclui que os teores de Fe não representam contaminação, estando os mesmos abaixo dos teores de fundo de sedimentos do Quadrilátero Ferrífero.

Pérez et al. (2006), em estudos de geoquímica dos solos brasileiros, assinalam que melhorias no limites de detecção dos elementos-traço no solo ocorreram com o desenvolvimento de instrumentação dos espectrofotômetros de absorção e emissão atômica, associando, além dos materiais de origem, os fatores pedogenéticos que exercem papel fundamental na distribuição dos elementos-traço no solo.

Nos últimos 20 anos, o enfoque da análise geoquímica de solo tem sido o estabelecimento de valores de referência para metais tóxicos com vistas ao estabelecimento de uma legislação que regule o uso do solo como via alternativa para aplicação dos resíduos domésticos/industriais na agricultura. A maioria dos

países europeus estabeleceram limites máximos permissíveis de elementos tóxicos em solo (Tabela 6), alguns com valores variáveis com o pH do solo.

No Estado de São Paulo, a CETESB, com base em metodologia holandesa, definiu valores de referência de qualidade de solo com base em amostragens específicas e legislação norte americana (Tabela 7) (TSUTIYA, 1999; PÉREZ et al., 2006).

Tabela 6 - Concentrações máximas permissíveis de metais em solos agrícolas para aplicação de resíduos domésticos/industriais na agricultura

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
EU Directive 86/278 ¹	1-3	-	50-140	1-1,5	30-75	50-300	150-300
França ¹	2	150	100	1	50	100	300
Alemanha ¹	1,5	100	60	1	50	100	200
Itália ¹	1,5	-	100	1	75	100	300
Holanda ¹	0,8	100	36	0,3	35	85	140
Suécia ¹	0,4	60	40	0,3	30	40	100-150
Cetesb/ USEPA 40 CFR ²	20	1500	750	8	210	150	1400

1. Pérez et al., (2006); e 2. Tsutiya (1999).

Tabela 7 - Concentrações máximas permissíveis de metais em resíduos domésticos/industriais para uso agrícola

	Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
EU Directive 86/278 ¹	20/40	1000-1750	16-25	300-400	750-1200	2500-4000
Cetesb/ USEPA ¹	85	4300	57	420	840	7500

1. Tsutiya (1999).

2.5. Uso de calcário na agricultura

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de avaliar a eficiência de resíduos na agricultura, como fertilizantes e como corretivos.

Nascimento e Lapiro (2004) desenvolveram método para extração de potássio a partir de feldspato potássico como fonte alternativa de fertilizantes para agricultura. Concluíram que deveriam merecer uma atenção especial as rochas enriquecidas em potássio como os arenitos feldspáticos e equivalentes microcristalinos dos sienitos, os traquitos, além de outras rochas com minerais ricos em potássio.

Piau (1991) relata que o uso de uma escória ou de um calcário moído na peneira de 50-60 mesh, 90 dias antes do plantio, age eficientemente na correção da acidez do solo, além de atuar como fonte de cálcio, magnésio e micronutrientes, verificando que os metais pesados contidos nas escórias não se tornaram disponíveis.

Num estudo em casa de vegetação com soja, Wutke et al. (1962) observaram similaridade de resposta das escórias na produção de sementes em comparação com calcário calcítico, dolomítico e sambaqui do litoral paulista.

Nutti et al. (2006) ressaltam a importância do cálcio na alimentação, cuja ingestão em nosso país varia de 300 mg a 500 mg por dia, enquanto a recomendação sugerida pelas DRIs (*Dietary Reference Intake*) para a população adulta dos Estados Unidos e Canadá, é de 1.000 mg a 1.200 mg.

O conhecimento do teor de cálcio e magnésio de um calcário, aliado ao conhecimento desses teores no solo, é de grande importância para um fornecimento balanceado e eficiente deste nutriente às plantas. Embora sejam níveis bastante gerais, as recomendações para o balanço cálcio/magnésio situam-se em torno de 60 a 70% da CTC, a pH 7,0 (LOPES e GUIDOLIN, 1989).

Nahass e Severino (2003) ressaltam que o calcário é a mais útil e versátil de todas as rochas e minerais industriais, possuindo um amplo leque de disponibilidade e apresentando um custo relativamente baixo quando é empregado como agregado da construção civil, como corretivo de solo ou como fertilizante, sendo utilizado desde a Renascença como corretivo da acidez do solo.

A utilização racional dos insumos, principalmente dos fertilizantes, leva à otimização econômica das culturas. Essa utilização varia em função do pH do solo, estando a maior eficiência da absorção dos nutrientes associada a valores em torno de 6,5 para a maioria das culturas. Portanto, a eficiência da adubação começa com a correção da acidez do solo (RAIJ, 1991; FORTES, 1993).

O fornecimento eficiente de cálcio e magnésio às plantas via calagem está relacionado não somente ao teor destes nutrientes no corretivo, mas também à granulação do produto. De uma maneira geral, quanto mais fina a granulação do calcário, mais rápidos serão seus efeitos quanto à correção da acidez, ao fornecimento de cálcio e magnésio e às respostas das culturas em produção, principalmente nos primeiros cultivos após a aplicação (LOPES e GUIDOLIN, 1989). Para o aproveitamento econômico de resíduos calcários, é necessário um estudo minucioso para avaliar as reais condições de utilização, avaliando e vislumbrando

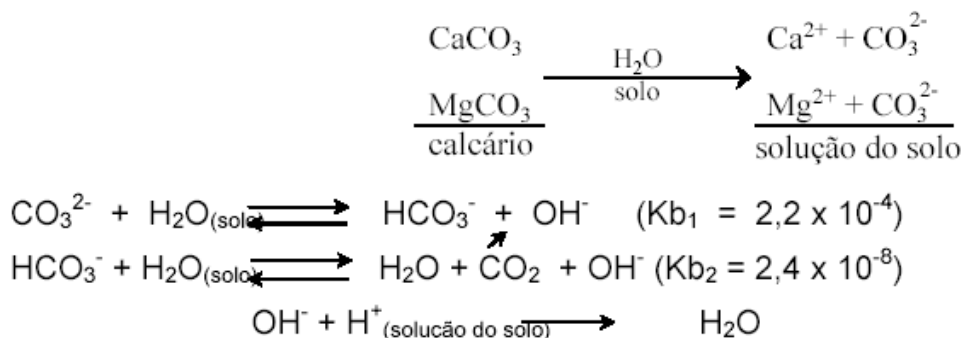
sua capacidade de armazenagem, resistência à intempérie, bem como sua demanda de mercado (VIEIRA JR, 2001).

Alcoforado (1992), estudando dois solos, concluiu que a mistura gesso mais magnesita foi eficiente para elevar o pH. Os resultados revelam aumentos na produção de matéria seca do sorgo semelhantes ao calcário e ao carbonato de cálcio no Latossolo Vermelho, não encontrando a mesma eficiência de correção de acidez e produção de matéria seca para o Latossolo Vermelho Escuro.

A prática da calagem visando à neutralização da acidez do solo é importante no contexto agrícola do país. Nessa prática, mediante uso de corretivos, eleva-se o pH, diminui-se a solubilidade do Al e do Mn, e elementos como o P, Ca, Mg e Mo tornam-se mais disponíveis à planta (ALCOFORADO, 1992).

Quando se aplica um corretivo de acidez no solo como os calcários (carbonato de cálcio e carbonato de magnésio), as reações resultantes são as seguintes:

Ação neutralizante:



Os carbonatos, fontes de Ca e/ou de Mg, reagem com o hidrogênio do solo liberando água e gás carbônico. No caso de outros corretivos da acidez de solo, que não o calcário, como a cal virgem (CaO), cal hidratada Ca (OH)₂, calcário calcinado, etc., que são quimicamente bases fortes, o mecanismo de neutralização da acidez do solo baseia-se na reação da hidroxila (OH⁻) com o (H⁺) da solução do solo (LOPES et al., 1991).

Sampaio e Almeida (2005) realizam um trabalho de aplicação de calcário moído e seus produtos, cal virgem e hidratada e escória em solo para correção de acidez, disponibilizando os nutrientes do solo para as plantas.

Em decorrência da reação química do material corretivo aplicado ao solo, têm-se as conhecidas alterações químicas como: aumento do valor pH, a neutralização do

ferro e do alumínio trocável, a insolubilização do manganês, o fornecimento de cálcio e magnésio, as modificações da capacidade de troca catiônica efetiva, a alteração da disponibilidade de micronutrientes entre outros efeitos (MALAVOLTA e VIOLANTE, 1989).

Para Malavolta e Violante (1989) o pH é um dos fatores que mais influenciam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, ressaltando a importância da calagem (Figura 7).

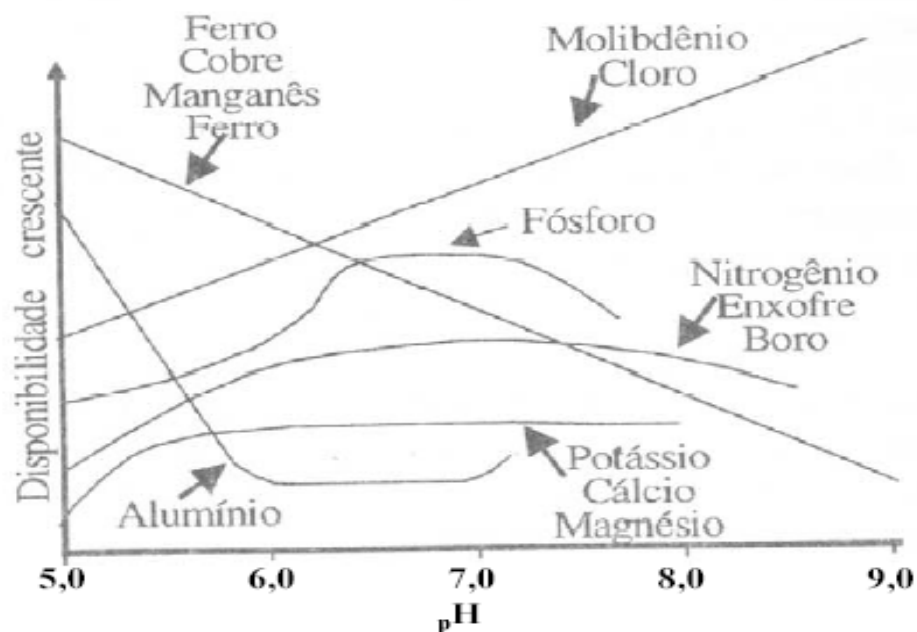


Figura 7 - Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo (MALAVOLTA e VIOLANTE, 1989).

Assim, conforme Rahass (2003), em solos muito ácidos, ocorre diminuição na disponibilidade de nutrientes, como fósforo, cálcio, magnésio, potássio molibdênio e aumento da solubilização de íons de zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio, que dependendo do manejo do solo e da adubação utilizados, podem atingir níveis de deficiência e toxicidade para as plantas.

Dentre as diversas características dos corretivos de acidez dos solos, a granulação e o teor de neutralizantes determinam o Poder Relativo de Neutralização Total do Corretivo (PRNT). O poder de neutralização de um corretivo de acidez é determinado analiticamente, fazendo-se uma amostra do mesmo reagir com uma quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico relativamente diluído (0,5N) e a quente (BRASIL, 1983).

A identificação de um produto como corretivo de acidez dos solos é feita determinando-se os teores de cálcio e de magnésio (BELLINGIERI et al., 1988). A ausência ou teores muito baixos desses elementos indicam que o produto não é corretivo de acidez dos solos. Essa determinação fornece os teores desses constituintes na forma elementar, isto é, Ca e Mg; mas são expressos, por convenção, como CaO e MgO em todos os corretivos.

Para os calcários, foram determinadas taxas de reatividade para as diferentes frações granulométricas, isto é, o percentual de ação do calcário no solo num período de três meses. Em termos de granulometria, a legislação atual (portaria SEFIS n° 03 de 12/06/86) determina que os corretivos da acidez do solo deverão possuir as seguintes características mínimas: passar 100% em peneira de 2 mm (ABNT n° 10); 70% em peneira de 0,84 mm (ABNT n° 20) e 50% na peneira de 0,3 mm (ABNT n° 50).

Isso significa que a fração maior que 2 mm (retida na peneira n° 10) não tem efeito considerável na correção da acidez; que 80% da fração 10-20 (2 a 0,84 mm) e 40% da fração 20-50 (0,84 a 0,30 mm) continuarão agindo no solo mais lentamente após o período de 3 meses; e que a fração menor que 0,3 mm reage totalmente em 3 meses (BRASIL, 2004c).

No caso dos calcários “filler”, calcários calcinados, cal virgem ou hidratada, que apresentam reatividade bastante superior a 100% ou quase “imediata”, nesse caso observa-se que esses corretivos não deixam nenhuma sobra de PN para ação mais lenta e posterior. O aumento do PRNT dos corretivos pode ser conseguido pela moagem mais fina ou pela calcinação (transformação do carbonato em óxido ou hidróxido): no primeiro caso ocorre somente aumento de reatividade e no segundo ocorre aumento de PN e reatividade (ALCARDE, 2005).

Alcarde (2005) considera que há situações que necessitam de corretivos com maior reatividade, como no caso de atraso na calagem, calagem em terrenos arrendados temporariamente, hortas, solos muito ácidos; há situações que necessitam de efeito residual como no caso de calagem para implantação de culturas perenes, semi-perenes e pastagens; muitas situações necessitam de corretivos com reatividade e efeito residual em níveis intermediários. Deve-se considerar também a natureza química do produto e a granulometria, porque exigem diferentes cuidados na aplicação: cal virgem, cal hidratada e calcário calcinado devem ser incorporados logo após a aplicação para não se empedrarem, assim como exigem maior proteção

das pessoas que os aplicam quanto ao contato com a pele e os olhos; e produtos de granulometria fina exigem equipamentos adequados para aplicação, assim como podem apresentar acentuadas perdas devido ao vento.

A legislação brasileira sobre o assunto é constituída pela Lei no 6.894 de 17/12/80 (Brasil, 1980), alterada pela Lei no 6.934 de 13/07/81 (Brasil, 1981), pelo Decreto n. 4.954 de 14/01/2004 (Brasil, 2004-a) e pela Instrução Normativa n. 4, de 02/08/2004 da Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo (SARC) (Brasil, 2004-c).

Nas características das fontes de corretivos de acidez do solo, a granulação ou a eficiência relativa (ER) está relacionada à velocidade de reação do corretivo no solo. O poder de neutralização (PN) do calcário depende dos teores e da natureza química das substâncias presentes na fonte de corretivo (CaO e MgO), englobando ambos os óxidos num único valor que define a qualidade do corretivo (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores mínimos do poder de neutralização (PN) e da soma dos teores de CaO e MgO de corretivos da acidez do solo (FULLIM e DADALTO, 2001)

CORRETIVOS	PN (%)	CaO + MgO (%)
Calcário	67	38
Calcário calcinado agrícola	80	43
Cal hidratada agrícola	94	50
Cal virgem agrícola	125	68
Escórias	60	30
Outras (margas, conchas)	67	38

O poder relativo de neutralização total (PRNT), que estima quanto de calcário irá reagir em um período de aproximadamente três meses, é obtido por meio do poder de neutralização (PN) e a reatividade (RE) de um calcário. Os valores são organizados em faixas (A, B, C e D) envolvendo diferentes níveis percentuais (Equação 1) (Tabela 9).

$$\text{PRNT} = \frac{\text{PN} \times \text{RE}}{100} \quad (\text{Equação 1}),$$

em que:

PRNT = poder relativo de neutralização total;

PN = poder de neutralização determinado analiticamente, fazendo-se uma amostra do mesmo reagir com uma quantidade conhecida e em excesso de ácido clorídrico relativamente diluído (0,5N) e a quente (BRASIL, 1983);

RE = reatividade;

$RE (\%) = \% F_{10-20} \times 0,2 + \% F_{20-50} \times 0,6 + \% F_{<50} \times 1$.

Sendo:

% F₁₀₋₂₀; % F₂₀₋₅₀; % F_{<50} = percentual das diferentes frações granulométricas; e

0,2; 0,6; 1 = taxas de reatividade das respectivas frações granulométricas (ALCARDE, 2005).

Tabela 9 - Classificação dos calcários agrícolas em relação ao poder relativo de neutralização total (PRNT) (FULLIM e DADALTO, 2001)

GRUPO OU FAIXA	PRNT (%)
A	45 a 60
B	60 a 75
C	75 a 90
D	superior a 90

O tamanho médio dos grãos minerais é fundamental para a reatividade e dela depende a eficiência relativa (ER) ou a reatividade (RE); assim, a granulação indica a capacidade de um corretivo reagir no solo e envolve a velocidade de reação e seu efeito residual.

Quanto à concentração de MgO, os calcários agrícolas podem ser classificados como calcíticos, magnesianos e dolomíticos, conforme mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Classificação dos calcários em relação ao teor de MgO (FULLIM e DADALTO, 2001)

TIPO DE CALCÁRIO	% MgO
Calcíticos	< 5
Magnesianos	5 a 12
Dolomíticos	> 12

Conforme Fullim e Dadalto (2001), as usinas no Estado do Espírito Santo têm capacidade de moagem de 1.805.921 toneladas/ano, com reservas de 733 milhões de toneladas e comercializadas 400 mil toneladas/ano de calcário agrícola. Em 1998, as escórias de alto forno da indústria siderúrgica, muito utilizadas na agricultura da Europa e EUA, chegavam a aproximadamente 1 milhão de toneladas no pátio da Companhia Siderúrgica de Tubarão, no Estado do Espírito Santo. Esse corretivo apresenta característica variáveis, possuindo em média 45% de CaO e 5% de MgO, classificado como corretivo magnésiano.

As cinzas residuais da indústria celulósica, originada da caldeira de biomassa, são produzidas em grandes quantidades com elevada alcalinidade e riquezas em nutrientes como fósforo e potássio, também se constituem fontes alternativas para uso agrônômico (FULLIM e DADALTO, 2001).

Assim, esforços devem ser feitos na busca de aperfeiçoamento do processo de valorização dos resíduos calcários como fatores de correção de solo, notadamente adequando a gestão dos resíduos nas indústrias, principalmente de beneficiamento de mármore.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do experimento

O experimento foi conduzido à sombra no Campus do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo. O Centro situa-se na cidade de Alegre (ES), na altitude de 277 m, com coordenadas geográficas 20°45' S e 41°31'57" W. O clima da região foi classificado pelo sistema de Köppen como Cwa mesotérmico úmido, com inverno seco e verão chuvoso. Possui as seguintes características climáticas: temperatura média anual de 22,6 °C, com média das máximas de 29,1 °C e média das mínimas de 17,9 °C; a precipitação anual média é de 1.292 mm.

3.2. Coleta e caracterização dos resíduos e do calcário comercial

Os resíduos calcários utilizados no experimento foram gerados em dois processos distintos de corte para desdobramento de mármore, resíduo de mármore serrado em

tear com lâmina diamantada (LD) e resíduo de mármore serrado em tear com lâmina e granalha de aço (LA). Buscou-se evidenciar os resíduos gerados dos mármore mais beneficiados pelas indústrias, com origem conhecida e materiais consagrados no mercado de rochas ornamentais e volumes representativos de passivos das empresas geradoras de resíduos calcários.

As amostras dos efluentes foram recolhidas, conforme recomendações de coleta manual de polpa descrito por Oliveira e Aquino (2007), no expurgo dos teares de empresas selecionadas pelo Projeto Caracterização de Rejeitos da Indústria de Beneficiamento de Rochas Ornamentais do Espírito Santo (RAYMUNDO, 2008). Foram adotados os critérios de seleção das empresas: que possuem lavras de mármore representativo no mercado; que processam somente de suas lavras e que possuem sistema de tratamento dos seus efluentes independente no processo de corte.

As amostras dos resíduos dos efluentes de corte de mármore foram coletadas em recipiente plástico de 1 dm³, diretamente na tubulação de descarga do efluente no momento de expurgo da lama abrasiva do processo de serragem (início, meio e fim do corte da rocha) e seguindo a NBR 10.007 (ABNT, 2004b).

As amostras dos resíduos foram levadas até o Laboratório de Química Analítica da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Vitória (ES), para preparo das amostras e avaliações dos atributos físico-químicos preconizados na norma de classificação de resíduos sólidos, a NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

Os ensaios de peneiramento e determinação dos teores de Ca e Mg para classificação de calcário (determinação do PRNT) foram feitos no Laboratório de Análises de Calcário da Indústria do Calcário Comercial – MOCAL de Vargem Alta (ES) observando os critérios de amostragem (BRASIL, 2004-b).

Os atributos utilizados no cálculo de poder relativo de neutralização total (PRNT), foram o poder de neutralização (PN) e a reatividade (RE) do calcário, calculado de acordo com a Equação 1, apresentada no item 2.5.

A caracterização mineralógica dos resíduos de mármore serrado com lâmina diamantada (LD) e resíduo de mármore serrado com lâmina de aço (LA) foi feita por Difractometria de Raio X no Laboratório do Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), no Rio de Janeiro (RJ).

Para a aplicação de resíduos em cultivos agrícolas, devem ser levadas em consideração as concentrações máximas de metais pesados, as concentrações

máximas em solos agrícolas e as cargas cumulativas máximas de metais em solos pela aplicação dos resíduos (TSUTIYA, 1999). Antes da instalação do experimento, determinou-se a quantidade total de metais pesados presentes em cada resíduo, conforme métodos reconhecidos para determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas definidos pela Instrução Normativa nº 24 de 20 de junho de 2007 da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA (BRASIL, 2007).

As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de emissão de plasma induzido em argônio ICP/OES da empresa Quimiplan em Vila Velha (ES). Os valores obtidos para os resíduos de mármore (LA e LD) foram comparados com os limites de concentração máxima estabelecidos pela U.S.EPA - 40 CFR Part. 503 (uso agrícola), pelas normas da CETESB para o Estado de São Paulo que se baseia nas recomendações norte-americana (TSUTIYA, 1999) e pelas normas de classificação de resíduos sólidos conforme NBR 10.004 (ABNT, 2004a).

Os métodos para determinação dos elementos: arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e selênio (Se) nos fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas, seguiram as determinações da *United State Enviroment Protection Agency* - U.S.EPA: Método 3050-B: 'Acid digestion of sediments, sludges, and soils'; Método 3051: 'Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils'; Método 7000A - 'Atomic Absorption Methods' Método 7470-A, 'Mercury in liquid waste (manual cold vapor technique)'; Método 7471-A: 'Mercury in solid or semisolid waste (manual cold vapor technique)'; Método 7061-A: 'Arsenic (atomic absorption, gaseous hydride)'; e Método 7741-A: 'Selenium (atomic absorption, gaseous hydride) (BRASIL, 2007).

3.3. Caracterização do solo utilizado no experimento

A área onde foi retirado o solo para o experimento é representativa da natureza ácida e topografia acidentada ocupada por pastagens no Patrimônio de Roseira, município de Alegre (latitude 20°45'49" e longitude 41°31'57"), região Sul do Espírito Santo.

Trata-se de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, relevo forte ondulado a montanhoso, bem característico das regiões tropicais, inclusive em

grandes áreas no Brasil, esses solos são mais intemperizados, predominando argilas de baixa atividade e teor baixo a médio de matéria orgânica com baixos níveis de CTC.

A coleta atingiu a profundidade de 0 a 20 cm, onde se concentra o maior volume de sistema radicular das plantas, em área homogênea. Foram coletadas cinco amostras simples em um percurso em “zig-zag” com utensílio de aço e armazenadas em sacos plásticos após secas ao ar, em sombra, e peneiradas em malha de 2 mm. Após o quarteamento, foram recolhidas amostras para caracterização química inicial, conforme recomendações de Tedesco et al. (1995).

Os resultados da análise do solo (Tabela 11) foram utilizados para definir as doses de corretivo e os tratamentos no experimento de correção de acidez. A interpretação dos valores para os atributos avaliados foi feita de acordo com os padrões propostos por Fullin e Dadalto (2001).

Tabela 11 - Atributos físicos e químicos do solo utilizado no experimento e interpretação dos resultados

ATRIBUTOS	UNIDADE	VALOR	INTERPRETAÇÃO
Densidade do solo	kg dm ⁻³	1,15	-----
Densidade de partículas	kg dm ⁻³	2,86	-----
Textura do solo	% de argila	32,8	Textura média*
pH	-	4,7	Acidez levada
P	mg dm ⁻³	1,0	Muito Baixo
K	mg dm ⁻³	27,0	Baixo
Ca	cmol _c dm ⁻³	0,2	Baixo
Mg	cmol _c dm ⁻³	0,1	Baixo
Na	mg dm ⁻³	4,0	-----
Al	cmol _c dm ⁻³	0,6	Médio
H+Al	cmol _c dm ⁻³	4,3	Médio
S.B	cmol _c dm ⁻³	0,38	Baixo
CTC	cmol _c dm ⁻³	4,71	Médio
T	cmol _c dm ⁻³	2,0	Baixo
V	%	8,1	Muito Baixo
m	%	11,0	Baixo
ISNa	%	0,4	-----

* Análise granulométrica método da pipeta Y= 2 quinta aproximação CFSEMG, 1999).

A determinação dos atributos seguiu a metodologia da EMBRAPA (1997), que pode ser resumida da seguinte forma: pH em água (relação 1:2,5); potássio (K) trocável por fotometria de chama, após extração com extrator Mehlich1; Ca e Mg trocáveis

por extração com cloreto de potássio 1 mol L^{-1} e determinação por titulometria; Al trocável por extração com cloreto de potássio 1 mol L^{-1} e titulação; acidez potencial por extração com acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0 e titulação e fósforo (P) por colorimetria, após extração com extrator Mehlich1.

Após a caracterização e do preparo do solo seco, conhecido como Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), foram separadas amostras em volumes de $2,0 \text{ dm}^3$ para receber as doses dos corretivos.

3.4. Definição das doses de corretivo e dos tratamentos

O cálculo da dose de calagem foi feito com base no PRNT das fontes de corretivo LD, LA e CC e nos dados da análise do solo. Para isso, utilizou-se a fórmula do "Método da neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis", onde se considerou ao mesmo tempo características do solo e exigências da cultura do milho, para ser avaliado os dados da incubação das fontes de corretivo quanto à susceptibilidade ou tolerância à acidez trocável e necessidade de cálcio e magnésio para a cultura, de acordo com a recomendação da quinta aproximação (CFSEMG, 1999) (Equação 2) e a interpretação de resultados de análise do solo para cultivo de milho (EMBRAPA, 2000).

$$\text{Quantidade de Calcário } QC = NC \cdot (SC/100) \cdot (PF/20) \cdot (100/PRNT) \quad (\text{Equação 2}),$$

em que:

SC = superfície de calagem;

PF = profundidade do solo.

$$\text{Necessidade de Calcário } NC = Y[Al - (mt \cdot t/100)] + [X - (Ca + Mg)] \quad (\text{Equação 3})$$

em que:

Y = classificação da textura do solo;

Al = teor de alumínio trocável;

X = exigência dos cultivos de milho para teores de Ca e Mg;

Ca = teor de cálcio indicado pela análise;

Mg = teor de magnésio indicado pela análise;

mt = valor máx. de saturação Al^{3+} tolerado pela cultura de milho;

t = capacidade tampão da acidez do solo.

Considerando-se os valores dos atributos apresentados na Tabela 11, foram determinados os dados do solo (Tabela 12).

Tabela 12 - Dados do solo utilizados para o cálculo das dosagens aplicadas na Equação 2

DADOS DO SOLO						
Y	Al	mt	t	X	Ca	Mg
2	0,60	15,00	4,71	2,00	0,20	0,10

Assim, a necessidade de calcário (NC) calculado para o solo coletado foi de 1.490 kg por hectare.

A partir desse valor, foram definidas as quantidades de cada fonte de corretivo estudada e apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Doses de corretivos recomendadas com base no PRNT e nas características do solo, definindo os diferentes tratamentos do experimento

FONTE DE CORRETIVO	PRNT	QC ton/ha	DOSES (ton./ha)			
			75%	100%	150%	300%
Resíduo de mármore serrado com lâmina diamantada (LD)	102,72	1,45	1,09	1,45	2,17	4,34
Resíduo de mármore serrado com lâmina de aço (LA)	99,55	1,49	1,12	1,45	2,24	4,48
Calcário comercial (CC)	86,11	1,73	1,29	1,73	2,59	5,18

Os tratamentos foram definidos da seguinte forma: para cada uma das fontes de corretivo estudada (resíduo de mármore serrado com lâmina diamantada – LD, resíduo de mármore serrado com lâmina e granalha de aço - LA e calcário comercial - CC) foram definidas quatro doses 75%, 100%, 150% e 300% da dose recomendada calculadas a partir do PRNT e QC. Também foi utilizada uma amostra de solo como testemunha sem dosagem de corretivo.

Definido as doses das fontes de corretivo para incubação nas unidades experimentais, os corretivos LD, LA e CC foram pesados em balança analítica com precisão de 0,0001 g e incorporados ao volume de 2 dm³ do Latossolo Vermelho-

Amarelo distrófico dispostos em recipientes adequados, conforme ilustrado na Figura 8.

As doses foram de 0% (Testemunha), 75%, 100%, 150% e 300% da dose ideal recomendada para correção do solo estudado. As unidades foram dispostas em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial de $3 \times 4 + 1$ (testemunha) com 4 repetições, totalizando 52 unidades experimentais.

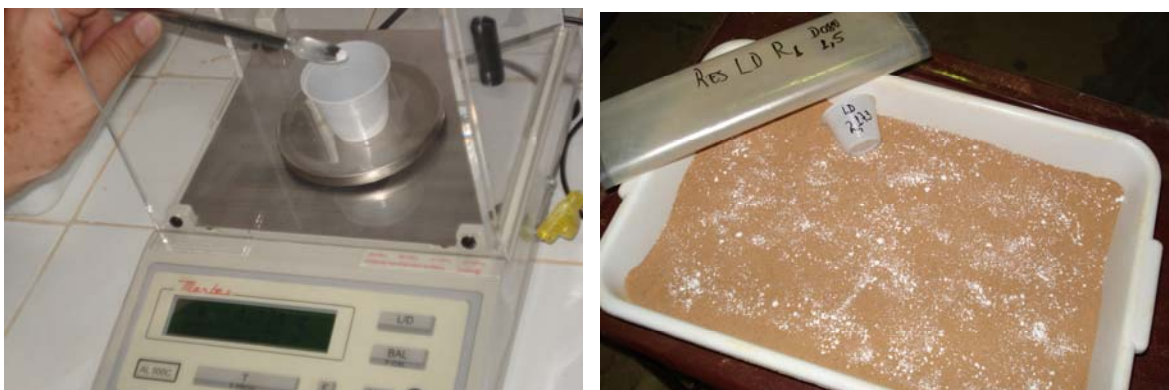


Figura 8 - Pesagem das fontes de corretivo em balança analítica de precisão de 0,0001 g e incorporação no Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em TFSA.

3.5. Preparação e procedimentos das unidades experimentais

As unidades experimentais foram preparadas com a aplicação das doses estabelecida para cada fonte de corretivo LD, LA e CC quantificada na Tabela 13, sendo posteriormente acondicionadas em sacos de polietileno.

As unidades experimentais com os tratamentos aplicados para incubação foram mantidos à sombra onde se monitorou o pH e os atributos da análise de rotina de solo (P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, CTC, SB, V, m e IsNa), além de Fe, até a avaliação final do experimento aos 30 dias (Figura 9).

A primeira coleta de amostra para análise de rotina de solo foi feita nos tratamentos ainda secos. Após a coleta inicial, efetuou-se a umectação do solo com água destilada a 70% da capacidade de campo calculada a partir da diferença de pesagem do solo seco e do solo drenado após a saturação.

Diariamente, foram coletadas amostras de 10 cm³ de cada unidade experimental para análise do pH no Laboratório de Química do CCA/UFES até sua estabilização, por 8 dias consecutivos.

Foram efetuadas pesagens diárias para reposição da umidade e controle das unidades experimentais.

As análises de rotina após a umectação do solo nas unidades experimentais foram feitas após 8 e 30 dias de incubação, as quais, após secagem, foram enviadas para análise no Laboratório do NEDTEC/CCA/UFES.



Figura 9 - Disposição das unidades experimentais mantidas à sombra com os tratamentos de quatro dosagens das três fontes de correção e uma testemunha em quatro repetições.

Após a estabilização do pH, aos 8 dias, foi realizada coleta para análises de rotina para avaliação dos atributos químicos: pH, P, K, Ca, Mg, Al e Na, e os parâmetros: acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação em bases (V), saturação de alumínio (m) e índice de saturação de sódio (IsNa) e repetida aos 30 dias finalizando o experimento.

3.6. Tratamento estatístico

A análise estatística dos dados coletados nas unidades experimentais foi feita com o programa computacional SAEG 9.1 (UFV, 2007). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, utilizando um delineamento experimental em arranjo fatorial 3 x 4+1 com quatro repetições. Os efeitos dos tratamentos estudados foram: fontes de corretivos (FCOR), doses aplicadas (DOSE) e as interações FCOR x DOSE.

Foram realizadas análises de regressão para os dados quantitativos e o Teste de Tukey a 5% de probabilidade foi aplicado nos dados qualitativos. Os dados

quantitativos que não tiveram ajuste pela análise de regressão também foram analisados pelo Teste de Tukey.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise mineralógica dos resíduos de mármore

Os resíduos de serragem analisados por difração de raios X são provenientes dos mármore: Branco Capixaba e Pinta Verde (Figuras 10 e 11).

Os resultados mostram que ambos são compostos predominantemente por dolomita e também contêm calcita e calcita magnesiana. Em ambos os resíduos, foram observados picos sem identificação com distâncias interplanares iguais a 3,223 Å e 1,6236 Å. A análise química dos resíduos com abertura de amostra auxiliaria na identificação do mineral que apresenta essas distâncias interplanares, porém essas análises não foram feitas por falta de recursos financeiros.

Pela comparação relativa das áreas dos picos, é possível realizar uma análise semi-quantitativa do teor dos minerais identificados, de onde se deduz que a quantidade de dolomita é, possivelmente, maior no resíduo do Mármore Pinta Verde do que no resíduo do Branco Capixaba.

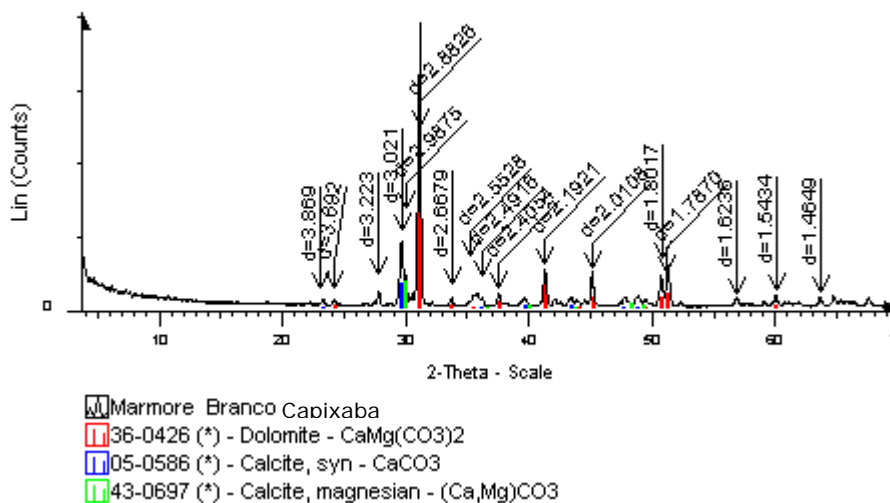


Figura 10 - Análise mineralógica do rejeito de beneficiamento do Mármore Branco Capixaba.

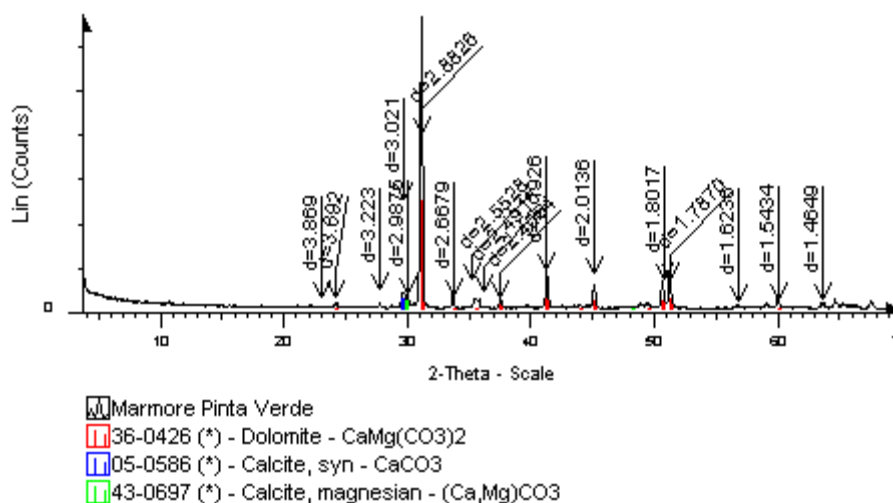


Figura 11 - Análise mineralógica do rejeito de beneficiamento do Mármore Pinta Verde.

Ambos as rochas analisadas foram serradas em tear convencional (com lâmina e granalha de aço). Porém, os materiais provenientes de seu beneficiamento não foram detectados na análise mineralógica dos rejeitos feita pela técnica de difração de raio X. A causa plausível dessa não identificação é a limitação de detecção da técnica (normalmente, a difração de raios X permite identificar componentes que estão presentes em teores maiores que 5%) ou os picos não identificados (3,223 e 1,6236 Å) se referem ao aço e ou cal.

4.2. Análise do poder relativo de neutralização total (PRNT)

Os resultados da caracterização química e física das fontes de corretivo de solo dos resíduos de corte de mármore usados no experimento são mostrados na Tabela 14. As fontes de corretivo LD e LA possuem granulação de calcário “filler”, mais fina que 0,30 mm (peneira n° 50), com reatividade próxima ou superior a 100%, o que pode indicar que a velocidade de reação desses produtos no solo tende a ser aumentada. De fato, os valores de PRNT são maiores para o resíduo de mármore serrado com tear com lâmina diamantada (LD), seguido pelo resíduo de tear de lâmina de aço (LA) e, por último, o calcário comercial (CC).

Tabela 14 - Caracterização química e física dos materiais usados como corretivo

MATERIAL	PRNT (%)	PN (%)	CaO (%)	MgO (%)	Peneira ABNT		
					2,0 mm	0,84 mm	0,3 mm
Resíduo do corte c/ lâmina diamantada (LD)	102,72	103,05	34,34	16,77	100%	99,91%	99,29%
Resíduo do corte c/ lâmina de aço (LA)	99,55	99,85	35,01	14,99	100%	99,97%	99,28%
Calcário Comercial (CC)	86,11	92	32	14	100%	89%	85%

4.3. Análise de metais pesados dos resíduos de mármore

As amostras de resíduos calcários foram enviadas para caracterização no Laboratório de Análises Químicas – Quimiplan em Vila Velha - ES (Tabela15).

A metodologia das análises seguiu as normas para corretivos e fertilizantes da Instrução Normativa 24 de 20 de junho de 2007 da Secretaria de Defesa Agropecuária do MAPA (BRASIL, 2007).

Tabela 15 - Análise de metais pesados (mg/kg). (LA = resíduo de corte com lâmina e granalha de aço; e LD = resíduo de corte com lâmina diamantada)

METAL (mg/Kg)	ARSÊNIO	CÁDMIO	CHUMBO	CROMO TOTAL	MERCÚRIO	NÍQUEL	SELÊNIO
LD	2,19	ND	ND	ND	0,05	ND	10,37
LA	1,19	ND	ND	18,85	ND	ND	ND
Conc. Máx. U.S.EPA 40	75	85	840	----	57	420	100

Os elementos cádmio, chumbo e níquel não foram detectados em nenhum dos resíduos. O mercúrio total não foi detectado no resíduo serrado em lâmina de lâmina de aço (LA), enquanto no resíduo diamantada (LD) apresenta o valor de 0,05 mg/Kg. O cromo total não foi detectado no resíduo serrado em lâmina diamantada (LD), enquanto no resíduo de lâmina de aço apresenta o valor de 18,85 mg/Kg. Ao contrário, o selênio aparece com teor de 10,37 mg/Kg no resíduo de lâmina diamantada (LD) e não foi detectado no resíduo de lâmina de aço (LA). O arsênio foi

detectado em ambos os resíduos, apresentando o teor de 2,19 mg/Kg no LD e 1,19 no LA.

Todos esses valores de elementos-traço analisados nas fontes de corretivo LA e LD, conforme métodos reconhecidos para determinação de metais pesados tóxicos em fertilizantes, corretivos agrícolas, condicionadores de solo e substratos para plantas definidos na Instrução Normativa nº 24 de 20 de junho de 2007 da Secretaria de Defesa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento MAPA (BRASIL, 2007), estão abaixo dos limites de concentração máxima estabelecidos pela U.S.EPA - 40 CFR Part. 503 (uso agrícola) (*Environmental Protection Agency – United States*), conforme Tabela 15, que, no entanto, não define os valores máximos para cromo total.

4.4. Análise estatística experimental

Nos itens 4.4.1 e 4.4.2 estão apresentados os resultados da análise estatística nos dois períodos de incubação avaliados.

4.4.1. Tempo de incubação de 8 dias (8 dai)

Os resultados da análise de variância de pH, CTC, Ca²⁺, Mg²⁺, V, Al³⁺, H+Al e Fe (total) apresentam interação significativa. Os seguintes fatores não apresentam interação significativa: SB e m (Tabelas 16, 17 e 18).

Tabela 16 - Análise de variância dos atributos químicos: potencial de hidrogênio (pH), capacidade de troca catiônica (CTC) e cálcio (Ca) em função do corretivo (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações

FV	GL	QUADRADO MÉDIO E SIGNIFICÂNCIA		
		pH	CTC	Ca
FCOR	2	0,24350 **	3,33075 **	0,10717 **
DOSE	4	5,33817 **	0,48500 **	3,20058 **
FCOR*DOSE	8	0,04017 **	0,67424 **	0,02883 **
RESÍDUO	45	0,00417	0,04480	0,00761
CV (%)		1,15	5,46	9,36

* - Significativo a 5% de probabilidade, ** - Significativo a 1% de probabilidade;
ns – não significativo, FV (fontes de variação) e GL (graus de liberdade).

Tabela 17 - Análise de variância dos atributos químicos: magnésio (Mg), soma das bases (SB) e saturação por bases (V) em função fonte de correção (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações

FV	GL	QUADRADO MÉDIO E SIGNIFICÂNCIA		
		Mg	SB	V
FCOR	2	0,02517 **	0,23482 **	142,3688 **
DOSE	4	1,26142 **	8,37643 **	6.162,3860 **
FCOR*DOSE	8	0,04142 **	0,02793 ns	90,8658 **
RESÍDUO	45	0,00422	0,01836	4,5161
CV (%)		12,82	8,89	5,36

* - Significativo a 5% de probabilidade, ** - Significativo a 1% de probabilidade;
ns – não significativo, FV (fontes de variação) e GL (graus de liberdade).

A soma de bases apresenta significância para os fatores DOSE e FCOR, isoladamente (Tabela 17) e m apresenta significância apenas para o fator DOSE (Tabela 18).

Tabela 18 - Análise de variância dos atributos químicos: alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação de alumínio (m) e ferro (Fe) em função da fonte de correção (FCOR), das doses (DOSE) e suas interações

FV	GL	QUADRADO MÉDIO E SIGNIFICÂNCIA			
		AL	H+AL	M	Fe
FCOR	2	0,00350 **	1,80817 **	26,5655 ns	575,0167 **
DOSE	4	0,66266 **	8,41683 **	7.865,9150 **	94,4750 **
FCOR*DOSE	8	0,00266 **	0,49484 **	14,3946 ns	47,4125 *
RESÍDUO	45	0,00083	0,01839	8,3112	19,3222
CV (%)		21,38	5,76	21,09	11,05

* - Significativo a 5% de probabilidade, ** - Significativo a 1% de probabilidade;
ns - não significativo, FV (fontes de variação) e GL (graus de liberdade).

Potencial de hidrogênio (pH)

Observa-se pelos resultados apresentados na Tabela 19 que, em relação às testemunhas, em todas as doses analisadas, as amostras tratadas com a fonte de corretivo LD, proporcionam maior elevação do pH do solo e as tratadas com o calcário CC a menor elevação. As amostras tratadas com a fonte de corretivo LA proporcionam elevação do pH estatisticamente igual às tratadas com o corretivo CC, nas doses de 75 e 150% e elevação inferior nas doses de 100 e 300%.

Tabela 19: Valores médios de pH obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

FONTES DE CORRETIVOS	DOSES (%)			
	75	100	150	300
LA	5,4 ^{AB}	5,6 ^A	5,9 ^B	6,5 ^B
LD	5,4 ^A	5,6 ^A	6,1 ^A	6,8 ^A
CC	5,3 ^B	5,4 ^B	5,8 ^B	6,3 ^C

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$); Testemunha: pH médio = 4,8 $\sigma^2 = 0,1$.

A Figura 12 apresenta os modelos estatísticos para pH em função da DOSE obtidos para cada um dos corretivos de solo estudados.

As fontes de corretivo LD, LA e CC proporcionam elevação do pH do solo das unidades experimentais com o aumento da dose (Figura 12). O ajuste obtido para a fonte de corretivo LD possui valor de β_1 (0,00682) maior que os valores de β_1 obtidos outras duas fontes de corretivo: LA (0,00557) e CC (0,00521).

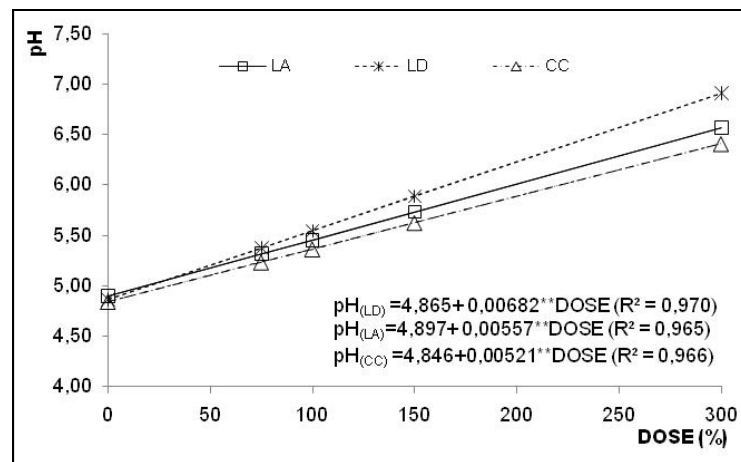


Figura 12: Variação do pH, para cada corretivo, em função DOSE. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Capacidade de troca catiônica (CTC)

Observa-se que as amostras tratadas com a fonte de corretivo LA apresentam valores médios de CTC mais elevados para todas as doses estudadas. As amostras tratadas com a fonte de corretivo LD apresentam valor médio de CTC estatisticamente igual ao valor médio das tratadas com a fonte LA na dose de 75% e estatisticamente igual à média de CTC das amostras tratadas com o calcário CC na

dose de 150%. Na dose de 100%, a CTC média das amostras tratadas com a fonte de corretivo LD é estatisticamente maior do que nas amostras tratadas com o calcário CC e na dose de 300%, a CTC média das amostras tratadas com o corretivo LD é menor que a média das tratadas com o calcário CC (Tabela 20).

Tabela 20 - Valores médios de CTC ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

FONTES DE CORRETIVO	DOSES (%)			
	75	100	150	300
LA	4,57 ^A	4,54 ^A	4,38 ^A	4,54 ^A
LD	4,54 ^A	3,96 ^B	3,51 ^B	3,13 ^C
CC	3,36 ^B	3,44 ^C	3,59 ^B	3,68 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$); Testemunha: pH médio CTC = $3,6 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$ $\sigma^2 = 0,2$.

Não foi possível obter um modelo estatístico que ajustasse os resultados obtidos para CTC de forma satisfatória, sendo assim optou-se por fazer um teste de Tukey para estudar o efeito das doses dentro de cada fonte de corretivo (Tabela 21).

Tanto a fonte de corretivo LA quanto o calcário CC não apresentam diferenças estatisticamente significativas entre as doses utilizadas.

Todavia, deve-se ressaltar que para a fonte de corretivo LA obteve-se valores estatisticamente diferentes entre a testemunha e as demais doses, indicando um aumento da CTC com a utilização deste corretivo (Tabela 21).

Tabela 21 - Valores médios de CTC no solo (em $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial)

DOSES (%)	FONTES DE CORRETIVO		
	LA	LD	CC
0	3,63 ^B	3,63 ^{BC}	3,63 ^A
75	4,56 ^A	4,54 ^A	3,36 ^A
100	4,54 ^A	3,96 ^B	3,44 ^A
150	4,38 ^A	3,51 ^{CD}	3,59 ^A
300	4,53 ^A	3,13 ^D	3,68 ^A

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);

* - Testemunha.

Nos resultados apresentados na Tabela 21, observa-se também que, para as amostras tratadas com a fonte de corretivo LD, o maior valor médio de CTC é obtido na dose de 75%. Nas doses de 100 e 150%, as médias de CTC são iguais à média da dose zero e a dose de 300% apresenta o menor valor médio de CTC.

Teores de cálcio (Ca^{2+})

Para qualquer um dos corretivos analisados, nas doses de 75% e 150% não há diferença significativa no teor médio de cálcio no solo. Nas doses de 100% e 300%, as amostras tratadas com a fonte de corretivo LA apresentam teores médios de cálcio mais elevados e as tratadas com o calcário CC os teores médios menos elevados (Tabela 22).

Tabela 22- Teores médios de Ca^{2+} (cmol/dm^3) obtidos para as amostras de solo tratadas por diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

FONTES DE CORRETIVO	DOSES (%)			
	75	100	150	300
LA	0,8 ^A	0,9 ^A	1,2 ^A	1,9 ^A
LD	0,7 ^A	0,8 ^{AB}	1,2 ^A	1,7 ^B
CC	0,8 ^A	0,8 ^B	1,1 ^A	1,5 ^C

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
 Testemunha: Ca^{2+} médio = 0,3 $\sigma^2 = 0,1$.

O teor médio de Ca^{2+} no solo cresce linearmente com o aumento da dose dos corretivos. O valor β_1 (0,00381) obtido para o calcário comercial é menor que os valores de β_1 obtidos para os outros dois corretivos LA (0,00467) e LD (0,00519) (Figura 13).

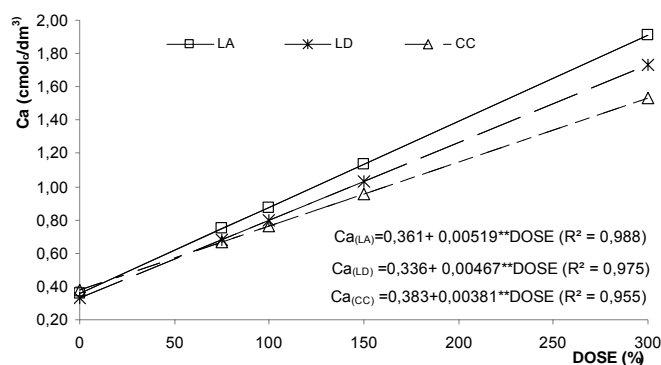


Figura 13 - Variação do Ca^{2+} em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Magnésio (Mg^{2+})

Na Tabela 23, observa-se que em qualquer uma das doses avaliadas, em relação às testemunhas, as amostras de solo tratadas com os corretivos LA e LD não apresentam diferenças estatísticas nos teores médios de magnésio.

As amostras de solo tratadas com a dose de 150% do recomendado para corretivo CC, não apresentam diferença significativa no teor de Mg^{2+} em relação às amostras tratadas com os corretivos LA e LD.

Nas doses 75 e 100% de corretivo CC, o teor médio de Mg^{2+} é menor que os teores médios nas amostras tratadas com os corretivos LD e LA. Na dose 300%, as amostras tratadas com o corretivo CC apresentam os valores mais elevados (Tabela 2).

Tabela 23 - Teores médios de Mg^{2+} ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

Fontes de corretivos	Doses (%)			
	75	100	150	300
LA	0,6 ^A	0,6 ^A	0,7 ^A	0,9 ^B
LD	0,5 ^A	0,5 ^A	0,7 ^A	0,8 ^B
CC	0,3 ^B	0,4 ^B	0,7 ^A	1,0 ^A

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: Mg^{2+} médio = $0,0 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$ $\sigma^2 = 0,1$.

Observa-se que os teores médios de Mg^{2+} crescem linearmente com as doses, sendo que o modelo ajustado para a fonte de correção CC apresenta valor de β_1 (0,0341) maior que as demais fontes (Figura 14).

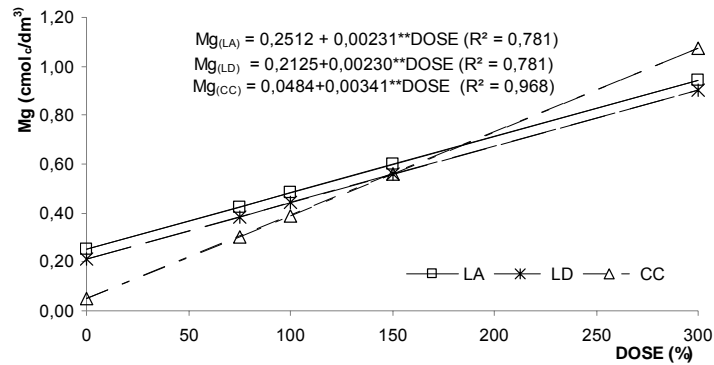


Figura 14 - Variação do Mg^{2+} em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Os valores β_1 ($\beta_{1(LA)} = 0,0231$ e $\beta_{1(LD)} = 0,0230$) semelhantes encontrados para as fontes corretivas LA e LD, indicam que as amostras apresentam um comportamento semelhante em relação ao aumento do teor de Mg^{2+} (Figura 14).

Soma de bases (SB)

As amostras de solo das unidades experimentais tratadas com corretivo LA apresentam o maior valor médio de SB, já as amostras tratadas com os corretivos LD e CC não apresentam diferenças significativas no valor médio desse atributo químico (Tabela 24).

Tabela 24- Valores médios de SB ($cmol_e/dm^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – Calcário comercial)

Fontes de corretivos	SB
LA	1,64 ^A
LD	1,53 ^B
CC	1,49 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);

Testemunha: SB médio = $0,38 \text{ cmol}_e/dm^3$ $\sigma^2 = 0,09$.

A Figura 15 apresenta os modelos estatísticos para SB em função da dose. Observa-se que a SB varia linearmente com a dose de corretivo com β_1 igual a 0,007.

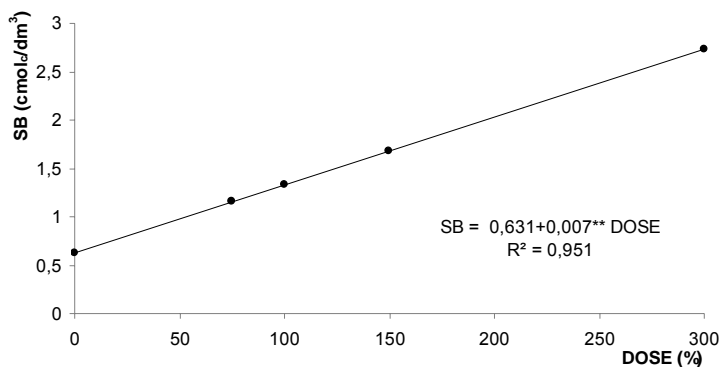


Figura 15 - Variação de SB em função da dose de corretivo.

(** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Saturação por bases (V)

Na Tabela 25, observa-se que, na dose de 75%, as amostras de solo das unidades experimentais tratadas com o corretivo LD apresentam menor valor médio de V em relação às demais amostras. Não é observada diferença significativa entre os valores médios de V na dose 100%.

Nas doses 150 e 300%, as amostras de solo das unidades experimentais tratadas com o corretivo LD apresentam os maiores valores e as amostras tratadas com o corretivo LA, os menores valores.

Tabela 25- Valores médios de V (%) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

Fontes de corretivos	Doses (%)			
	75	100	150	300
LA	32,1 ^A	34,4 ^A	44,3 ^C	61,8 ^C
LD	28,3 ^B	35,4 ^A	54,5 ^A	82,0 ^A
CC	33,2 ^A	36,1 ^A	50,3 ^B	70,4 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: V médio = 10,4 % $\sigma^2 = 1,9$.

Em todos os modelos ajustados, os valores de V aumentam linearmente em função da dose, sendo que a função ajustada para o corretivo LA apresenta o menor de β_1 (0,163) e a função ajustada para o corretivo LD apresenta o maior valor de β_1 (0,242) (Figura 16).

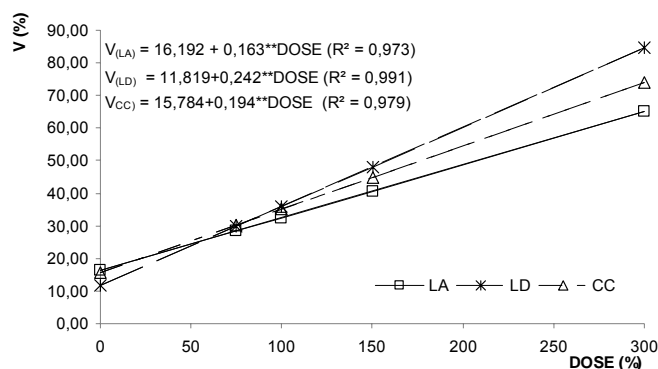


Figura 16 - Variação do V em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Teor de alumínio (Al^{3+})

Apenas na dose de 100%, observa-se diferença significativa entre os diferentes corretivos para nos teores de Al^{3+} no solo (Tabela 26). Nessa dose, as amostras de solo das unidades experimentais tratadas com o calcário comercial apresentam os maiores teores médios de Al^{3+} .

Tabela 26 - Teores médios de Al^{3+} ($cmol_c/dm^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

FONTES DE CORRETIVO	DOSES ($cmol_c/dm^3$)			
	75	100	150	300
LA	0,1 ^A	0,0 ^B	0,0 ^A	0,0 ^A
LD	0,1 ^A	0,0 ^B	0,0 ^A	0,0 ^A
CC	0,1 ^A	0,1 ^A	0,0 ^A	0,0 ^A

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: Al^{3+} médio = $0,6 cmol_c/cm^3$ $\sigma^2 = 0,1$.

Não foi possível obter um modelo estatístico que ajustasse os resultados obtidos para Al^{3+} de forma satisfatória, sendo assim optou-se por fazer um teste de Tukey para estudar o efeito das doses dentro de cada fonte de corretivo (Tabela 26).

Tabela 27 - Teores médios de Al^{3+} no solo (em $cmol_c/dm^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial)

DOSES (%)	FONTES DE CORRETIVO		
	LA	LD	CC
0*	0.6 ^A	0.6 ^A	0.6 ^A
75	0.1 ^B	0.1 ^B	0.1 ^B
100	0.0 ^C	0.0 ^C	0.1 ^B
150	0.0 ^C	0.0 ^C	0.0 ^C
300	0.0 ^C	0.0 ^C	0.0 ^C

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);

* - Testemunha.

H+Al

As amostras de solo das unidades experimentais tratadas com o corretivo LA apresentam valores mais elevados de H+Al em todas as doses estudadas. Nas doses de 75, 100 e 150%, as amostras tratadas com calcário comercial apresentam os menores valores médios de H+Al. As amostras tratadas com o corretivo LD apresentam o menor valor médio de H+Al na dose de 300% (Tabela_28).

Na Figura 17, observa-se que, para todos os corretivos analisados, ocorre o decréscimo dos valores de H+Al com o aumento da dose aplicada. A função ajustada para o corretivo LA apresenta o maior de β_1 (-0,00555) e a função ajustada para o corretivo LD apresenta o menor valor de β_1 (-0,00999).

Tabela 28 – Valores médios de H+Al ($cmol_c/dm^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

FONTES DE CORRETIVO	DOSES (%)			
	75	100	150	300
LA	3,1 ^A	3,0 ^A	2,4 ^A	1,7 ^A
LD	3,3 ^A	2,6 ^B	1,6 ^B	0,6 ^C
CC	2,3 ^B	2,1 ^C	1,8 ^B	1,1 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);

Testemunha: H+Al médio = 3,3 $cmol_c/dm^3$ $\sigma^2 = 0,1$.

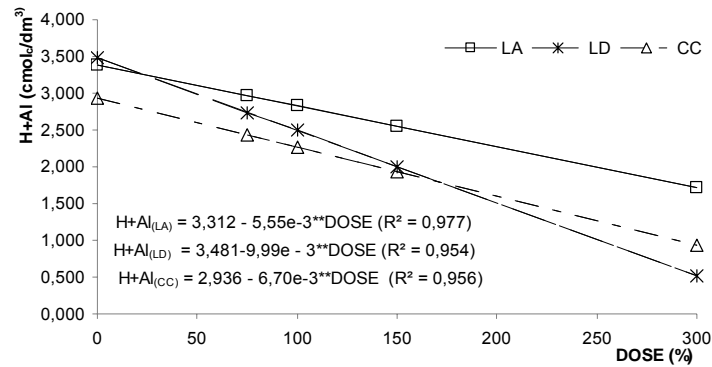


Figura 17 – Variação do Al+H em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Saturação de alumínio (m)

Na Tabela 29, observa-se que nas doses de 100, 150 e 300% não há diferença significativa dos valores médios de saturação de alumínio no solo, sendo esses os valores mínimos.

Tabela 29 - Valores médios de m (em cmol_c/dm³) nas diferentes doses (DOSE)

DOSE (%)	m (cmol _c /dm ³)
0*	58,8 ^A
75	4,5 ^B
100	1,3 ^C
150	0,0 ^C
300	0,0 ^C

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<5%);
* - Testemunha.

Ferro total (Fe)

Em todas as doses avaliadas, as amostras de solo das unidades experimentais tratadas com os corretivos LD e CC não apresentam diferenças significativas nos teores de ferro, comparadas com as testemunhas. As amostras tratadas com o corretivo LA apresentam valores mais elevados de teores de ferro em todas as doses aplicadas (Tabela 30).

Tabela 30 - Teores médios de Fe (mg/dm^3) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

FONTES DE CORRETIVO	DOSES (%)			
	75	100	150	300
LA	50 ^A	50 ^A	50 ^A	41 ^A
LD	40 ^B	38 ^B	40 ^B	34 ^B
CC	38 ^B	34 ^B	36 ^B	32 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: Fe médio = $39 \text{ mg}/\text{dm}^3$ $\sigma^2 = 5$.

O modelo que melhor se ajustou aos dados obtidos para o corretivo LA foi um modelo quadrático com β_1 igual a $-4,837 \times 10^{-4}$ e β_2 igual a $1,498 \times 10^{-4}$. O valor máximo estimado pela curva de Fe é igual a $51 \text{ cmol}/\text{dm}^3$, na dose de 155% (Figura 18).

Tanto os dados obtidos para o corretivo LD, quanto para o corretivo CC, foram ajustados por modelos lineares, onde se observa uma redução dos teores de ferro com o aumento da dose aplicada e, em ambos os casos, o β_1 foi igual a $-2,313 \times 10^{-2}$ (Figura 18).

A fonte de corretivo LA apresenta teores de Fe disponível no solo superiores aos das fontes de corretivo LD e CC. Verifica-se um aumento da disponibilidade de Fe no solo tratado com LA nas doses 75 e 100% e redução a partir da dose 150%, chegando aos níveis próximos aos originais do solo na dose de 300% conforme a Figura 18.

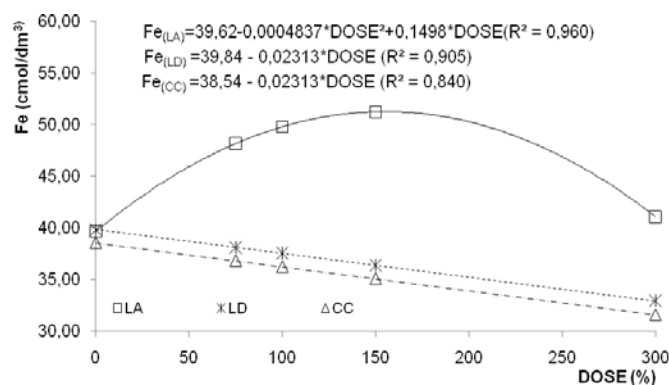


Figura 18 - Variação do Fe em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (* - significativo a 5% de probabilidade pelo teste t de Student).

4.4.2. Tempo de incubação de 30 dias (30 dai)

Os resultados da análise de variância de pH, CTC, Mg^{2+} , V, Al^{3+} , H+Al e m apresentam interação significativa. Os seguintes fatores não apresentam interação significativa: Ca^{2+} , SB e Fe (total) (Tabelas 31, 32 e 33).

A soma de bases e o Fe (total) apresentam significância para os fatores DOSE e FCOR, isoladamente (Tabelas 32 e 33), e Ca^{2+} apresenta significância apenas para o fator DOSE (Tabela 31).

Tabela 31 - Análise de variância dos atributos químicos: potencial de hidrogênio (pH), capacidade de troca catiônica (CTC) e cálcio (Ca) em função do corretivo (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações

FV	GL	QUADRADO MÉDIO E SIGNIFICÂNCIA		
		pH	CTC	Ca
FCOR	2	0,08511 **	0,23286 *	0,03650 ns
DOSE	4	6,31310 **	0,51611 **	3,33542 **
FCOR*DOSE	8	0,02785 **	0,14986 *	0,01192 ns
RESÍDUO	45	0,00305	0,06766	0,01267
CV (%)		0,97	5,86	12,50

* - Significativo a 5% de probabilidade, ** - Significativo a 1% de probabilidade; ns – não significativo, FV (fontes de variação), GL (graus de liberdade).

Tabela 32 - Análise de variância dos atributos químicos: magnésio (Mg), soma das bases (SB) e saturação por bases (V) em função fonte de correção (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações

FV	GL	QUADRADO MÉDIO E SIGNIFICÂNCIA		
		Mg	SB	V
FCOR	2	0,17617 **	0,17544 **	56,51154 **
DOSE	4	1,05191 **	7,94301 **	4.733,52700 **
FCOR*DOSE	8	0,02554 **	0,01534 ns	28,19356 *
RESÍDUO	45	0,00394	0,02986	10,64758
CV (%)		12,27	11,37	9,33

* - Significativo a 5% de probabilidade, ** - Significativo a 1% de probabilidade; ns – não significativo, FV (fontes de variação), GL (graus de liberdade).

Tabela 33 - Análise de variância dos atributos químicos: alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), saturação de alumínio (m) e ferro (Fe) em função fonte de correção (FCOR) e doses (DOSE) e suas interações

FV	GL	QUADRADO MÉDIO E SIGNIFICÂNCIA			
		AL	H+AL	m	Fe
FCOR	2	0,00717 **	0,06525 ns	35,53968 **	1.080,37400 **
DOSE	4	0,63865 **	12,14080 **	6.220,53400 **	1.002,98300 **
FCOR*DOSE	8	0,00430 **	0,13890 *	21,66550 **	130,35950 ns
RESÍDUO	45	0,00074	0,05464	3,83652	149,95470
CV (%)		21,00	8,00	16,27	22,69

* - Significativo a 5% de probabilidade, ** - Significativo a 1% de probabilidade; ns - não significativo, FV (fontes de variação) e GL (graus de liberdade).

Potencial de hidrogênio (pH)

Observa-se, pelos resultados apresentados na Tabela 34, que para a dose de 100% não há diferenças significativas na elevação do pH para todas as amostras em relação à testemunha, independe da fonte de corretivo utilizada. Nas doses de 75 e 100%, as amostras tratadas com o corretivo LD apresentam as maiores elevações de pH e na dose de 300% a maior elevação é observada nas amostras tratadas com o corretivo LA (Tabela 34).

Tabela 34 - Valores médios de pH obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

	DOSE (%)			
	75	100	150	300
LA	5,4 ^A	5,5 ^A	6,0 ^A	6,6 ^B
LD	5,4 ^{AB}	5,6 ^A	6,0 ^{AB}	6,9 ^A
CC	5,3 ^B	5,5 ^A	5,9 ^B	6,5 ^C

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$); Testemunha: pH médio = 4,8 $\sigma^2 = 0,1$.

A Figura 19 apresenta os modelos estatísticos para pH em função da DOSE obtidos para cada um dos corretivos de solo estudados.

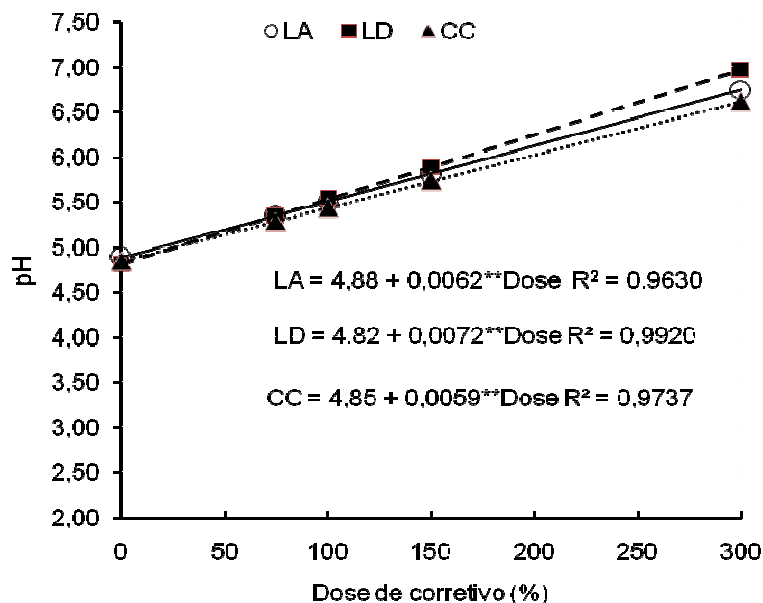


Figura 19 - Variação do pH, para cada corretivo, em função DOSE. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Os corretivos LD, LA e CC proporcionam elevação do pH do solo das unidades experimentais com o aumento da dose (Figura 19). O ajuste obtido para o corretivo LD possui valor de β_1 (0,0072) maior que os valores de β_1 obtidos para os outros dois corretivos LA (0,0062) e CC (0,0059).

Capacidade de troca catiônica (CTC)

Não são observadas diferenças significativas nos valores médios de CTC nas doses de 75% e 100%. Para as doses de 150% e 300%, as amostras tratadas com o corretivo LA apresentam os maiores valores médios de CTC (Tabela 35).

Tabela 35 - Valores médios de CTC ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

	DOSE (%)			
	75	100	150	300
LA	4,54 ^A	4,44 ^A	4,46 ^A	4,56 ^A
LD	4,72 ^A	4,39 ^A	4,32 ^{AB}	3,91 ^B
CC	4,36 ^A	4,38 ^A	3,96 ^B	4,25 ^{AB}

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: pH médio CTC = 4,74 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ $\sigma^2 = 0,23$.

Não foi possível obter um modelo estatístico que ajustasse os resultados obtidos para CTC de forma satisfatória, sendo assim optou-se por fazer um teste de Tukey para estudar o efeito das doses dentro de cada fonte de corretivo (Tabela 36).

Observa-se uma constante redução da CTC para as amostras tratadas com o corretivo LD.

As amostras tratadas com o corretivo LA não apresentam diferenças significativas entre as diferentes doses, mas há uma redução da CTC entre a testemunha e os tratamentos. Comportamento semelhante observa-se para as amostras tratadas pelo corretivo CC.

Tabela 36 - Valores médios de CTC no solo (em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) nas diferentes dosagens (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial)

DOSES (%)	FONTES DE CORRETIVO		
	LA	LD	CC
0*	4,74 ^A	4,74 ^A	4,74 ^A
75	4,54 ^B	4,72 ^A	4,36 ^B
100	4,44 ^B	4,39 ^B	4,38 ^B
150	4,46 ^B	4,32 ^B	3,96 ^C
300	4,56 ^B	3,91 ^C	4,25 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);

* - Testemunha.

Teores de cálcio (Ca^{2+})

Independentemente da fonte de corretivo utilizada, observa-se que há um aumento linear dos teores de Ca^{2+} em função do aumento da dose de corretivo. O modelo linear ajustado apresenta $\beta_1 = 0,0047$ (Figura 20).

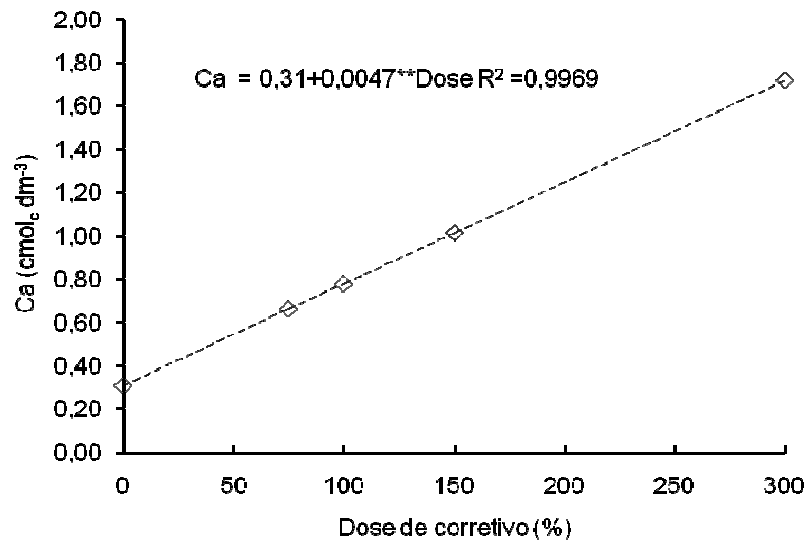


Figura 20 - Variação do nível de Ca^{2+} em função da DOSE. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Magnésio (Mg^{2+})

Na Tabela 37, observa-se que, para a dose de 75%, as amostras não apresentam diferenças significativas nos teores médios de magnésio e nas demais doses as amostras tratadas com o corretivo CC apresentam os menores valores para esse atributo (Tabela 37).

Tabela 37 - Teores médios de Mg^{2+} ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

	DOSE (%)			
	75	100	150	300
LA	0,5 ^A	0,5 ^{AB}	0,7 ^A	0,9 ^B
LD	0,5 ^A	0,6 ^A	0,8 ^A	1,1 ^A
CC	0,4 ^A	0,4 ^B	0,5 ^B	0,7 ^C

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
 Testemunha: Mg^{2+} médio = 0,1 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$ $\sigma^2 = 0,0$.

Observa-se que os teores médios de Mg^{2+} crescem linearmente com as doses, sendo que a menor elevação destes teores é observada para a fonte de correção CC, cujo modelo apresenta valor de β_1 (0,0341) (Figura 21).

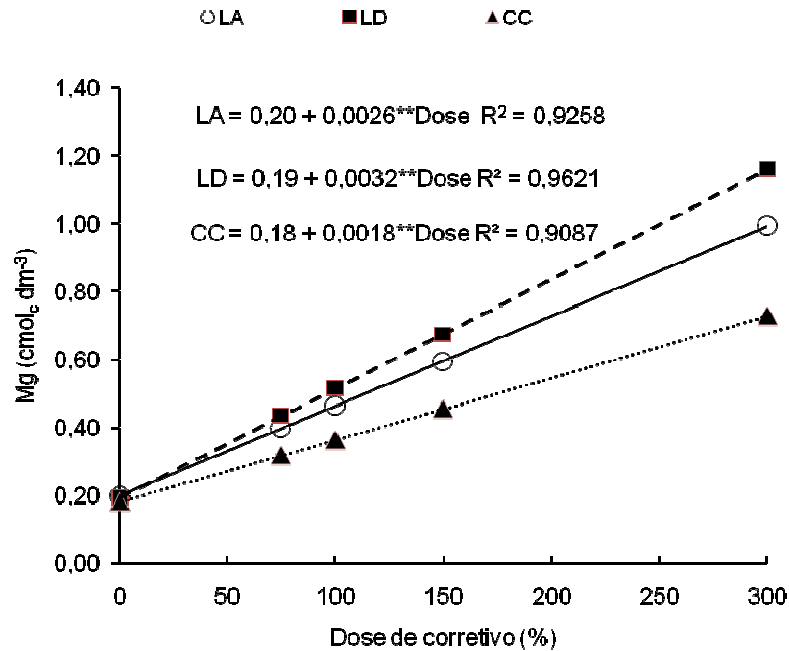


Figura 21 - Variação do Mg^{2+} em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Soma de bases (SB)

As amostras de solo das unidades experimentais tratadas com corretivo CC apresentam o menor valor médio de SB, já as amostras tratadas com os corretivos LA e LD não apresentam diferenças significativas no valor médio desse atributo químico (Tabela 38).

Tabela 38 - Valores médios de SB ($cmol_e/dm^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial)

Fontes de corretivos	SB
LA	1,58 ^A
LD	1,56 ^A
CC	1,41 ^b

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$); Testemunha: SB médio = 0,49 % $\sigma^2 = 0,07$.

A Figura 22 apresenta os modelos estatísticos para SB em função da dose. Observa-se que SB varia linearmente com a dose de corretivo com β_1 igual a 0,0072.

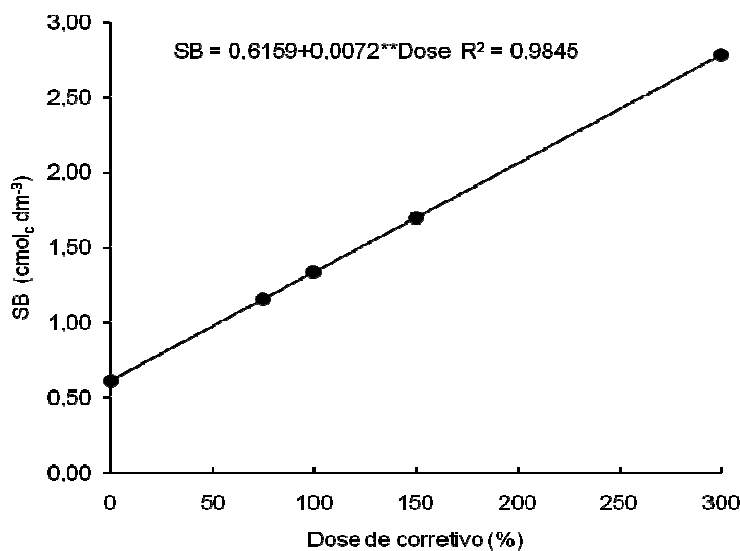


Figura 22 - Variação de SB em função da dose de corretivo.

(** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Saturação por bases (V)

Apesar de ter sido observada significância da interação entre os fatores analisados, só foi observada diferenças significativas nos valores médios de V entre as amostras tratadas por diferentes fontes de corretivo na dose 300%. Nessa dose, observa-se que as amostras tratadas com o corretivo LD apresentam valores mais elevados de V que as outras duas fontes de corretivo, que não apresentam médias com diferença significativa (Tabela_39).

Em todos os casos, observa-se um aumento linear dos valores de saturação por bases em função da dose (Figura 23) e, assim como mostra a Tabela 39, o comportamento dos valores médios de V entre os três corretivos é muito semelhante.

Tabela 39 - Valores médios de V (%) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

	DOSE (%)			
	75	100	150	300
LA	28,5 ^A	31,6 ^A	43,1 ^A	61,8 ^B
LD	27,2 ^A	32,7 ^A	42,1 ^A	70,6 ^A
CC	25,0 ^A	29,2 ^A	42,5 ^A	59,2 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: V médio = 10,4 % $\sigma^2 = 1,7$.

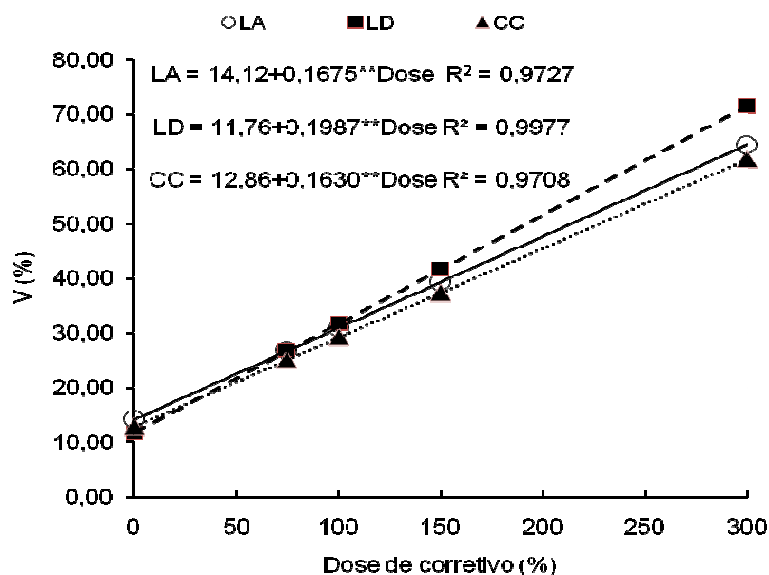


Figura 23 - Variação do V em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Teor de alumínio (Al^{3+})

Nas doses de 150% e 300% não há diferença significativa entre as amostras tratadas pelas diferentes fontes de corretivo. Na dose de 100%, apenas as amostras tratadas com a fonte de corretivo LA apresenta valor médio de teor de alumínio diferente de zero. Na dose de 75%, as fontes de corretivo LD e LA não apresentam diferença significativa nos valores médios do teor de alumínio; nessa dose, as amostras tratadas com a fonte de corretivo CC apresentam o menor teor médio de Al^+ (Tabela 40).

Tabela 40 - Teores médios de Al^{3+} ($\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

	DOSE (%)			
	75	100	150	300
LA	0,1 ^A	0,1 ^A	0,0 ^A	0,0 ^A
LD	0,1 ^A	0,0 ^{AB}	0,0 ^A	0,0 ^A
CC	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^A	0,0 ^A

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: Al^{3+} médio = $0,6 \text{ cmol}_e/\text{cm}^3$ $\sigma^2 = 0,1$.

Não foi possível obter um modelo estatístico que ajustasse os resultados obtidos para Al^{3+} de forma satisfatória, sendo assim optou-se por fazer um teste de Tukey para estudar o efeito das doses dentro de cada fonte de corretivo (Tabela 41).

Tabela 41 - Teores médios de Al^{3+} no solo (em $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial)

Doses (%)	Fontes de corretivos		
	LA	LD	CC
0*	0,6 ^A	0,6 ^A	0,6 ^A
75	0,1 ^B	0,1 ^B	0,0 ^B
100	0,1 ^{BC}	0,0 ^C	0,0 ^B
150	0,0 ^{CD}	0,0 ^C	0,0 ^B
300	0,0 ^D	0,0 ^C	0,0 ^B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
* - Testemunha.

A fonte de corretivo CC reduz o teor de alumínio a zero na dose de 75%; a fonte de corretivo LD apresenta a mesma redução na dose de 100% e a fonte de corretivo LA, na dose de 150%.

H+Al

Apesar de ter sido observada significância da interação entre os fatores analisados, só foi observada diferenças significativas dos valores médios de H+Al entre as amostras tratadas por diferentes fontes de corretivo na dose 300%. Nessa dose, observa-se que as amostras tratadas com o corretivo LD apresentam valores de

H+Al menores do que as outras duas fontes de corretivo, que não apresentam médias com diferença significativa (Tabela_42).

Em todos os casos, observa-se um aumento linear dos valores de saturação por bases em função da dose (Figura 24). Assim como o que foi observado na Tabela 40, o comportamento dos valores médios de H+Al entre os três corretivos é muito semelhante.

Tabela 42 – Valores médios de H+Al ($\text{cmol}_c/\text{dm}^3$) obtidos para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes doses (DOSE)

	DOSE (%)			
	75	100	150	300
LA	3,3 ^A	3,0 ^A	2,5 ^A	1,8 ^A
LD	3,4 ^A	3,0 ^A	2,5 ^A	1,1 ^B
CC	3,3 ^A	3,1 ^A	2,3 ^A	1,7 ^A

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: H+Al médio = $4,3 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ $\sigma^2 = 0,3$.

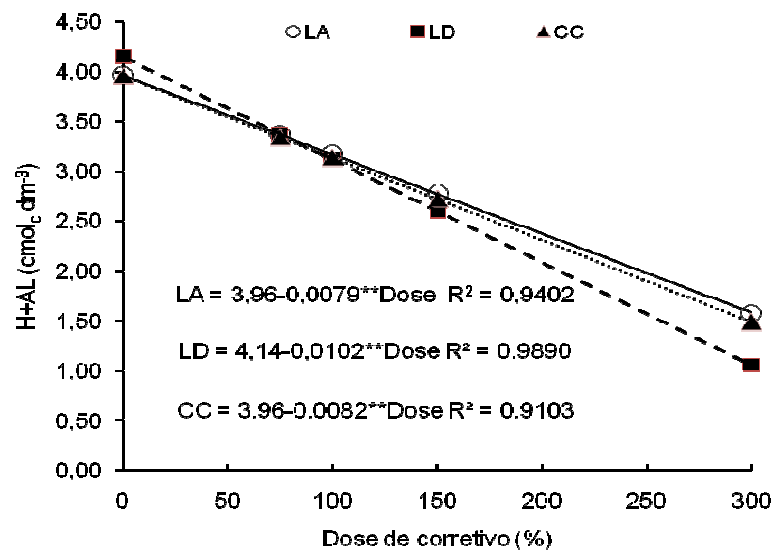


Figura 24 – Variação do Al+H em função da dose de corretivo, para cada uma das fontes de correção analisadas. (** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

Saturação de alumínio (m)

Nas doses de 150% e 300%, os valores médios de m não apresentam diferença significativa entre as amostras tratadas pelas diferentes fontes de corretivo. Na dose

de 100%, apenas as amostras tratadas com a fonte de corretivo LA, apresentam valor médio de teor de alumínio diferente de zero. Na dose de 75%, as fontes de corretivo LD e LA não apresentam diferença significativa nos valores médios do teor de alumínio. Nessa dose, das amostras tratadas com a fonte de corretivo CC apresentam o menor teor médio de Al^+ (Tabela 43).

Tabela 43 - Valores médios de saturação por alumínio (m), em %, para as amostras de solo tratadas com diferentes corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial) dentro das diferentes Doses de corretivo, aos 30 dias após inoculação

FCOR	Doses (%)			
	75	100	150	300
LA	8,2 ^A	3,5 ^A	0,6 ^A	0,0 ^A
LD	9,7 ^A	0,9 ^{AB}	0,0 ^A	0,0 ^A
CC	0,0 ^B	0,0 ^B	0,0 ^A	0,0 ^A

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
Testemunha: m médio = 52,5 e $\sigma = 3,3$.

Não foi possível obter um modelo estatístico que ajustasse os resultados obtidos para m de forma satisfatória, sendo assim optou-se por fazer um teste de Tukey para estudar o efeito das doses dentro de cada fonte de corretivo (Tabela 44).

Tabela 44 - Teores médios de m no solo (em $cmol_c/dm^3$) nas diferentes doses (DOSE) dentro dos corretivos (LA – resíduo do tear com lâmina de aço, LD – resíduo do tear diamantado e CC – calcário comercial)

DOSES (%)	FONTES DE CORRETIVO		
	LA	LD	CC
0*	52.5 ^A	52.5 ^A	52.5 ^A
75	8,2 ^B	9,7 ^B	0,0 ^B
100	3,5 ^C	0,9 ^C	0,0 ^A
150	0,6 ^{CD}	0,0 ^A	0,0 ^A
300	0,0 ^E	0,0 ^A	0,0 ^A

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$);
* - Testemunha.

A fonte de corretivo CC apresenta redução a zero do teor de alumínio na dose de 75%; a fonte de corretivo LD apresenta a mesma redução na dose de 100% e a fonte de corretivo LA, na dose de 150%.

Ferro total (Fe)

As amostras de solo tratadas com os corretivos LA e LD não apresentam diferenças significativas nos teores de ferro. As amostras tratadas com o corretivo CC apresentam os menores teores de ferro (Tabela 45).

Tabela 45- Teores médios de Fe ($\text{mg} \times \text{dm}^{-3}$) obtidos para as amostras de solo, aos 30 dias após incubação

FONTES DE CORRETIVO	VALORES	
LA	59	A
LD	57	A
CC	45	B

Letras iguais na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 5\%$); Testemunha: Fe médio = 39 mg/dm^3 $\sigma^2 = 8$.

O modelo de regressão que melhor se ajustou aos dados de avaliação de teor de Fe em função da dose foi o polinomial de raiz quadrada. O valor de β_1 obtido é igual a 0,1703 e de β_2 é igual a 3,8087, o valor máximo estimado de teor de Fe obtido pelo modelo é 60 mg/dm^3 , na dose de 125% (Figura 25).

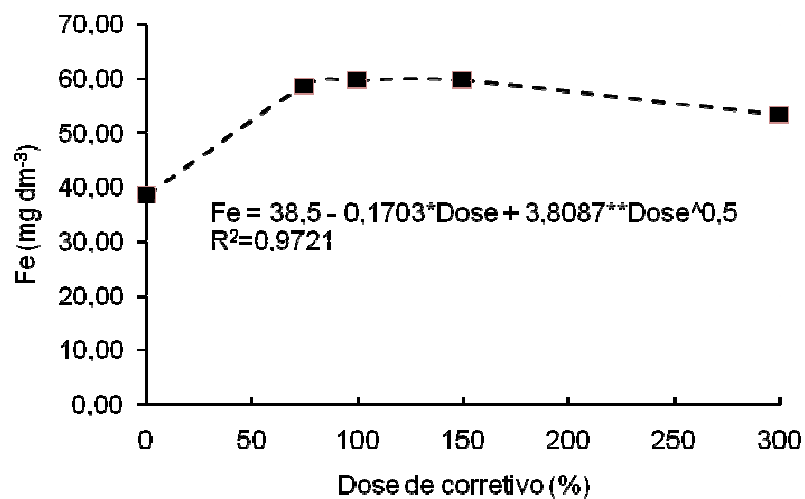


Figura 25 - Variação do teor de Ferro (Fe) em função da Dose de corretivo.

(** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste t de Student).

4.4.3. Avaliação dos resultados de 8 e 30 dias de incubação

Para avaliar os resultados obtidos, utilizou-se a classificação de referência para a cultura de milho definida pela EMBRAPA (2000).

Conforme a análise apresentada no item 3.3, o solo é pobre em nutrientes, com alto grau de intemperismo e acidez elevada, baixa CTC e deficiência de P, K, Ca e Mg. O pH original do solo é classificado como baixo (4,5 a 5,4) e, independentemente do tempo de incubação, manteve essa classificação para a dose de 75%, variando de elevado para bom (5,5 a 6) nas doses 100 e 150% e chegando a alto (6,1 a 7,0) na dose de 300%, exceto para o calcário CC no tempo de incubação de 8 dias, onde o pH se mantém em nível bom (Tabelas 19 e 34 e Figuras 19 e 12).

Todavia, observa-se que, para ambos os períodos de incubação, existe uma maior eficiência na elevação do pH das amostras tratadas com os corretivos LA e LD. Tal eficiência está relacionada com o maior fracionamento das partículas juntamente com teores mais elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} , o que é corroborado pelos valores de PRNT encontrados para essas fontes (Tabela 14).

Efeito semelhante foi observado em estudos correlacionando fracionamento das partículas e variação de pH, conduzidos por Prado (2004), Kurihara et al. (1999) e Bellingieri (1983).

Independentemente do tempo de incubação, o nível de cálcio é elevado de muito baixo ($\leq 0,40 \text{ cmol/dm}^3$) no solo original para baixo (0,41 a $1,2 \text{ cmol/dm}^3$) nas doses de 75 a 150 %, chegando ao nível médio (1,21 a $2,4 \text{ cmol/dm}^3$) na dose de 300% (Tabela 22 e Figuras 13 e 20).

Aos 8 dai, as fontes de corretivo LA e LD proporcionam uma maior elevação dos teores de cálcio em relação à fonte de corretivo CC (Tabela 22). A ordem de reatividade observada nesse período inicial está relacionada aos teores de óxidos e à granulação desses materiais (Tabela 14). Tal comportamento está de acordo com o observado em calcários *filler* (granulação $< 0,30 \text{ mm}$), que segundo Alcarde (2005) possuem uma ação quase imediata (inferior a 15 dias).

Em ambos os períodos de incubação, todas as fontes de corretivo elevam o nível de Mg^{2+} de muito baixo ($\leq 0,15 \text{ cmol/dm}^3$), na testemunha, para o nível médio (0,46 a $0,90 \text{ cmol/dm}^3$) nas doses de 100% e 150%. Na dose 300%, a fonte de corretivo CC apresenta nível bom (0,91 a $1,5 \text{ cmol/dm}^3$) aos 8 dai e nível médio aos 30 dai, enquanto as fontes de corretivo LA e LD apresentam resultado inverso (Tabelas 23 e

37 e Figura 14 e 21). Assim como para o Ca^{+2} , a explicação dessa diferença de reatividade pode estar relacionada com a granulometria das diferentes fontes de corretivo.

Uma exceção foi observada na dose de 300% aos 8 dai, onde o teor médio de Mg^{2+} é maior para o calcário CC que para as fontes de corretivo LA e LD. Considera-se a possibilidade de um erro de amostragem ou na análise química dessas amostras.

A aplicação das fontes de correção eleva o pH a um valor no qual a toxicidade de Al^{3+} é eliminada na menor dose aplicada (75 %) para os dois períodos de incubação (Tabelas 26, 27, 40 e 41). O mesmo é observado para a saturação de alumínio, onde todos os corretivos testados, independentemente do tempo de incubação, levam a saturação de alumínio ao nível muito baixo (<15 %) já na dose inicial de 75% (Tabelas 29 e 43). Isso indica que os corretivos testados possuem reatividade adequada para a neutralização do Al^{3+} nas doses indicadas.

Para o período de 8 dai, as amostras tratadas com o corretivo LA têm o nível de CTC variando de baixo (3,63 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$, no solo sem tratamento) a médio (4,31 a 8,00 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$). Em todas as doses de corretivo CC, não há elevação do nível de CTC e a fonte de corretivo LD apresentou uma elevação de CTC na dose de 75% e um decaimento com o aumento da doses (Tabelas 20 e 21).

Para o período de 30 dai, o corretivo LA mantém a CTC do solo original, que é média (4,74 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$), para todas as doses. A fonte de corretivo CC provoca a queda da CTC para o nível baixo a partir da dose inicial de 75% e a fonte de corretivo LD provoca uma contínua redução da CTC, alcançando o nível baixo na dose 150% (Tabelas 35 e 36).

Todas as fontes de corretivo, independentemente do tempo de incubação, elevam a soma de bases do nível muito baixo ($\leq 0,6 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$) para o nível baixo (0,61 a 1,80 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) nas doses de 75%, 100% e 150% e para o nível médio (1,81 a 3,60 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) na dose de 300% (Tabelas 24 e 38 e Figuras 15 e 22).

Todas as fontes de corretivo, independentemente do tempo de incubação, apresentam uma elevação linear da saturação por bases que passa de muito baixa ($\leq 20,0 \%$) na testemunha, para baixa (20,1 a 40,0%) na dose recomendada (100%), média (40,1 a 60,0 %) na dose 150%, chegando ao nível bom (60,1 a 80,0_%) na dose de 300% (Tabelas 25 e 39 e Figuras 16 e 23).

No período de 8 dai, todas as fontes de corretivo só reduzem o nível de acidez potencial de médio (2,51 a 5,00 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) para baixo (1,01 a 2,50 $\text{cmol}_e/\text{dm}^3$) a

partir da dose de 150% e, apenas nas amostras tratadas com fonte de corretivo LD, obtém-se uma redução para o nível muito baixo ($\leq 1,00 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) (Tabela 28 e Figura 17).

No período de 30 dai, todas as fontes de corretivo só reduzem o nível de acidez potencial de médio ($2,51$ a $5,0 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$) a partir da dose de 150% (Tabela 42 e Figura 24).

Diferentemente do comportamento da neutralização do Al^{3+} , a acidez potencial não respondeu exatamente na mesma seqüência da granulometria das fontes de corretivo. Prado et al. (2003) avaliando efeito de calcário e escória de aciaria, incubada em seis e nove meses, verificam alterações químicas significativas do calcário sobre a escória na neutralização da acidez do solo, exceto para as variáveis H+Al e V.

Aos 8 dai, observa-se que os teores de ferro são elevados do nível bom para o nível muito bom ($>45 \text{ mg}/\text{dm}^3$) com a aplicação da fonte de correção LA que atingiria o nível máximo de $51 \text{ mg}/\text{dm}^3$ na dose teórica de 155% (Figura 18), retornado novamente ao nível bom (31 a $45 \text{ mg}/\text{dm}^3$) na dose de 300%. As demais fontes de corretivo não alteram significativamente o nível original de ferro no solo (nível bom).

Aos 30 dai, observa-se que os teores de ferro são elevados do nível bom para o nível muito bom ($>45 \text{ mg}/\text{dm}^3$) com a aplicação de qualquer uma das fontes de correção, atingindo o nível máximo de $60 \text{ mg}/\text{dm}^3$ na dose teórica de 125% (Figura 25).

Os teores médios mais elevados de Fe aos 8 dai para a fonte de corretivo LA estão relacionados com a maior concentração de Fe do resíduo de tear de lâmina de aço.

Sousa et al. (2004) definem que os principais mecanismos envolvidos nos efeitos do calcário sobre a toxidez de ferro são o consumo dos H^+ necessários para a redução dos óxidos de ferro, o que deve diminuir a quantidade de ferro liberada e aumentar as quantidades de Ca e Mg na solução do solo. Os efeitos da calagem sobre os teores de cálcio, magnésio e potássio têm reflexos importantes sobre a ocorrência de toxidez por ferro. Segundo Moore e Patrick (1989), a competição entre os cátions pelos sítios de absorção nas raízes tem grande influência sobre a absorção do ferro e, conseqüentemente, sobre possibilidade de ocorrência da toxidez.

Apesar de o ferro ser um nutriente essencial à planta, seu teor na solução do solo pode atingir níveis tóxicos para o arroz. Vários autores citados por Silva (2005) encontraram teores críticos para ocorrência de toxidez de ferro, variáveis entre 30 e

500 mg/dm³. Fageria et al. (1981), em solução nutritiva, citam que a toxicidade ocorre em concentrações acima de 80 mg/dm³, considerando que os níveis de ferro no solo representam toxidez às plantas em solos ácidos.

5. CONCLUSÕES

Os resíduos de mármore serrados com lâmina diamantada (LD) e com lâmina de aço (LA) utilizados neste trabalho podem ser classificados como calcário dolomítico do grupo D, apresentando características de calcário "filler" por ter granulação mais fina do que 0,30 mm e reatividade igual ou superior a 100%.

Os níveis de metais pesados encontrados nos dois tipos de resíduos estudados estão abaixo dos limites máximos permitidos pela USEPA - 40 CFR Part. 503 (uso agrícola) (*Environmental Protection Agency – United States*).

Nos dois períodos de incubação, a aplicação de todas as fontes de correção eleva as concentrações de Ca e Mg e o pH do solo, eliminando a toxicidade de Al³⁺ na menor dose aplicada (75 %). Portanto, as três fontes de correção utilizadas possuem a reatividade adequada para que suas doses de aplicação sejam calculadas pelo "Método de neutralização da acidez trocável e da elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis" recomendado pela quinta aproximação da CFSEMG (1999).

Independentemente do tempo de incubação, a fonte de corretivo LA apresenta maiores valores de SB e a fonte de corretivo CC apresenta os menores valores.

Não foi possível determinar, de forma clara, as relações entre os atributos CTC, V e H+Al e as diferentes doses das fontes de corretivo.

Os teores de Fe obtidos durante o experimento se mantêm nos níveis bom e muito bom para a cultura de milho e em uma faixa adequada para a maioria das culturas. Embora o Fe esteja presente nos insumos utilizados na serragem com lâmina de aço, seus teores nas unidades experimentais após os dois períodos de incubação não apresentam riscos de toxidez.

O aproveitamento dos resíduos LA e LD mostra-se potencialmente eficaz para prática de calagem do latossolo estudado nas doses recomendadas para cultivo de milho, observando as condições adotadas nesta pesquisa. Os resultados obtidos com oito dias de incubação (8 dai) apontam uma maior reatividade inicial dos resíduos LA e LD em relação ao calcário comercial (CC).

6. REFERÊNCIAS

ABIROCHAS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Balço das exportações e importações brasileiras de rochas ornamentais em 2007**, Informe 01/2008, Disponível em: <<http://www.abirochas.com.br>>. Acesso em: 08/04/2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004b.

ALCARDE, J.C. **Corretivos da Acidez dos Solos Características e Interpretações Técnicas Boletim Técnico N° 6** Anda Associação Nacional Para Difusão de Adubos São Paulo, 2005.

ALCOFORADO, P. A. U. G. **Efetividade de diferentes materiais corretivos na correção da acidez de dois Latossolos e no crescimento do sorgo**. Viçosa, UFV, 1992. 54p. (Dissertação de Mestrado).

ALENCAR, C. R. A.; CARANASSIOS, A.; CARVALHO, D. L. C. **Estudo econômico sobre rochas ornamentais, tecnologias de lavra e beneficiamento**, v.3, Fortaleza: IEL/FIEC, 1996.

ALMEIDA, S. L. M. **Aproveitamento de rejeitos de pedreiras de Santo Antonio de Pádua – RJ**, Série Rochas e Minerais, Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2002.

ANDRADE, J. A. de. **Diagnóstico Geoambiental da Cabeceira do Rio das Velhas – APA Cachoeiro da Andorinhas, Ouro Preto Minas Gerais**. UFOP, 2000, 188 p. (Tese de Doutorado).

BECKETT, P. H. T. **Critical tissue concentrations as indicators of toxicity**. Suelos Ecuatoriales. Bogota. 1991.

BELLINGIERI, P.A.; ALCARDE, J.C.; SOUZA, E.C.A. **Avaliação da qualidade de calcários agrícolas através do PRNT**. Anais da Esc. Sup. Agr. “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 45(2):579-588, 1988.

BRASIL, 1980. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **Lei nº 6.894**, de 16/12/1980. Brasília, 1980 Disponível em: www.mapa.gov.br. acesso em 2 de agosto de 2008.

BRASIL, 1981. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **Lei nº 6.934**, de 13/07/1981. Brasília, 1981 Disponível em: www.mapa.gov.br. acesso em 2 de agosto de 2008.

BRASIL.1983 Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes**: métodos oficiais. Brasília, 1983. 104p.

BRASIL, 2004-a. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **Decreto nº 4.954**, de 14/01/2004. Brasília, 2004 Disponível em: www.mapa.gov.br. acesso em 2 de agosto de 2008.

BRASIL, 2004-b. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **Instrução Normativa nº 10** de 06/05/2004. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Brasília, 2004 Disponível em: www.mapa.gov.br. acesso em 2 de agosto de 2008.

BRASIL, 2004-c. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento **Instrução Normativa nº 4**, de 02/08/2004. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo (SARC). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) Brasília, 2004 Disponível em: www.mapa.gov.br. acesso em 2 de agosto de 2008.

BRASIL, 2007. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 24** de 20 de junho de 2007 da Secretaria de Defesa Agropecuária do MAPA. Brasília, 2007 Disponível em: www.mapa.gov.br. acesso em 2 de agosto de 2008.

CAMPOS, A. A. **Simulação Numérica do Movimento de Água e Solutos em Solos não Saturados** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2007.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2001. **Índice e padrões de qualidade**, disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em fev. 2007.

CFSEMG - COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa, 1999.

CHIODI FILHO, C. Panorama técnico-científico do setor de rochas ornamentais no Brasil. **Geociências**, São Paulo, v. 23, n. 1/2, p. 5-20, 2004. Disponível em: <http://www.scirus.com/locate>>. Acesso em 10 fevereiro 2008.

CIMINELLI, R. Rochas e Minerais Industriais. In: **Tendências Tecnológicas Brasil 2015**: Geociências e Tecnologia Mineral. Eds. Fernandes, F.R.C.; Luz, A.B.da; Matos, G.M.M.; Castilho, Z.C. Rio de Janeiro, 2007. 380 p.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Portaria n 15/1996**. Data da legislação: 1996. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em 20 de agosto de 2008.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº313/2002**. Publicação DOU nº 224. 2002. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em 20 de agosto de 2008.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. CPRM: 1997.

CUNHA, G. M.; CATEN, A.; GOMES, J. A.; FREIRE, R. R.; PIRES, F. R. Caracterização química dos resíduos de mármore e granito e sua eficiência como corretivos da acidez do solo. In: **ANAIS DA XXII REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**. Manaus – AM, 1996, p: 443-444 (Resumos).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p. (Embrapa/CNPS, Claessen, M. E. C. Org. Documentos, 1).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária **Cultivo do Milho**. 2000. <http://sistemadeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/Cultivodomilho/feranalise.htm> Acesso em 19 de set 2008.

FAGERIA, N.K.; BARBOSA FILHO, M.P.; GHEYI, H.R. Avaliação de cultivares de arroz para tolerância à salinidade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 5, p. 677-681, 1981.

FREITAS, J. G. de. **Caracterização química inorgânica dos rejeitos segregados de serragem de rochas ornamentais do Espírito Santo**. Vitória, UFES, 2008. Dissertação (Mestrado em Química) Programa de Pós-Graduação em Química Centro de Ciências Exatas da Universidade Federal do Espírito Santo.

FORTES, J. L. O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. Viçosa, UFV, 1993. 66p. (Dissertação de Mestrado).

FULLIN, E. A.; DADALTO, G.G. Avaliação da Fertilidade do Solo e do Estado Nutricional das Plantas. In: DADALTO, G.G.; FULLIN, E. A. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo: 4ª aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER, 2001. 266 p.

GOOGLE MAPS. Imagem das Lavras de Mármore em Alto Gironda e Itaoca Município de Cachoeiro de Itapemirim e Vargem Alta. <http://www.google.com.br/maps>, Acesso em 20 de setembro de 2008.

IEMA - INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Legislação Ambiental**. Disponível em: <http://www.iema.es.gov.br/default.asp>. Acesso em 11, set. 2008.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Catálogo de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo: Catálogos I – Fabio Conrado de Queiroz et al – Ely Borges Frazão Coordenador**. São Paulo, 1993.

JESUS, H. C. **Especificação aquosa e importância da fase particulada no comportamento hidrogeoquímico de U, Th e terras raras na mina de urânio e Morro do Ferro, Poço de Caldas.** 1996. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Programa de Pós-Graduação da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1996.

LONGHAI, **Informativo técnico de produtos metálicos:** informativo comercial. 2007. Disponível em: <http://www.longhai.com>. Acesso em: 25 ago. 2008.

LOPES, A.S.; SILVA, M. de C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do Solo e Calagem.** 3. ed. São Paulo: ANDA, 1991. 22 p. (Boletim Técnico 1)

LOPES, A.S.; GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de análise do solo, conceitos e aplicações,** 2a edição. São Paulo, ANDA, 1989. 64p. (Boletim Técnico 2).

MALAVOLTA, E.; VIOLANTE NETTO, A. **Nutrição mineral, calagem, gessagem e adubação dos citros.** Piracicaba: POTAFOS, 1989. 153p.

MEDINA, H. V. de, **Eco-concepção para a qualidade da reciclagem do aço e do alumínio automotivos,** Série CETEM Inovação e Qualidade n° 01, Rio de Janeiro, 2006.

MEDINA, H. V. de. Reciclagem de Materiais: Tendências tecnológicas de um novo setor. In: CETEM, **Tendências tecnológicas Brasil 2015:** Geociências e Tecnologia Mineral. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. p. 273-299.

MOORE, P.A.; PATRICK, W.H. Iron availability and uptake by rice in acid sulfate soils. **Soil Science Society of America Journal,** Madison, v.53, p.471-476, 1989.

NAHASS, S.; SEVERINO, J. **Calcário Agrícola no Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2003. 79 p. (Série Estudos e Documentos, n° 61).

NASCIMENTO, M.; LAPIDO-POUREIRO, F.E. **Fertilizantes e Sustentabilidade:** o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. Rio de Janeiro: CETEM, 2004. (Série Estudos e Documentos, n° 61).

NUTTI, M.; CARVARLHO, J. L. V.; WATANABE, E. A Biofortificação como Ferramenta para Combate a Deficiência em Micronutrientes. In: **GEOLOGIA MÉDICA NO BRASIL Efeito dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana e Meio Ambiente. 2005 Workshop Internacional de Geologia Médica.** Rio de Janeiro, Cássio Roberto da Silva et al(Ed.), 2006. 220p.

OLIVEIRA, I. C. A. **As Lamas Resultantes da Indústria Transformadora das Rochas Ornamentais - Recuperação Paisagística de um Aterro Superficial de Lamas em Pêro Pinheiro (Sintra)** Relatório de Fim de Curso de Arquitetura Paisagística. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia. Lisboa, 2005 p. 70

OLIVEIRA, M.L.; AQUINO, J. A. Amostragem In: **Tratamento de Minérios Práticas Laboratoriais** Editores João Alves Sampaio, Silvia Cristina Alves França e Paulo Fernando Almeida Braga, Rio de Janeiro, CETEM 2007. p.3-34

PEITER, C.C.; CHIODI FILHO, C. **Rochas Ornamentais No século XXI: Bases para uma Política de Desenvolvimento Sustentado das Exportações Brasileiras.** Rio de Janeiro: CETEM / ABIROCHAS, 2001.

PEREIRA, F. R. **Valorização de Resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentíceas.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) curso de Pós-graduação em Engenharia de Materiais - Universidade de Aveiro, Portugal, 2006.

PÉREZ, D. V.; MANZATTO, C. V.; ALCÂNTARA, S. de; WASSERMAN, M. A. V. Geoquímica dos Solos Brasileiros: Situação Atual In: **Geologia Médica no Brasil Efeitos dos Materiais e Fatores Geológicos na Saúde Humana e Meio Ambiente 2005 Workshop Internacional de Geologia Médica.** Rio de Janeiro, Silva, Roberto da (Ed). 2006 p. 36-42.

PEYNEAU, G. O. R.; PEREIRA, G. S.; **Tratamento dos resíduos provenientes das serragens de granito através da implantação do filtro-prensa,** XXIV ENEGEP, p. 1-5, Florianópolis: 2004. Disponível em: www.uvv.com.br. Acesso em 02 de setembro de 2008.

PIAU, W. C. **Viabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizantes.** Piracicaba: ESALQ, 1991. 99p. (Dissertação de Mestrado).

PIMENTEL, H.S. **Caracterização Geoquímica da Contaminação das Águas na Serra de Ouro Preto, Minas Gerais.** UFOP, 2001. 113 p. (Dissertação de Mestrado) Programa de Pos-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto 2001.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 27, p. 287-296, 2003.

PREZOTTI, J. C. S., BRAGA, F.S., COUTO, M.C.L., BATISTA, T.R.O., YAMANE, L.H.; **Proposta de implantação de uma central de tratamento de resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais de Nova Venécia – E. S.,** Site particular, 2004. Disponível em <http://www.manancialprojetos.com.br>. Acesso em 20 de agosto de 2008.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Agronômica Ceres, Potafos, 1991. 343p.

RAYMUNDO, V. **Relatório do Projeto de Caracterização de Resíduo Industrial de Beneficiamento de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo.** Convenio nº064/2007 SINDIROCHAS/UFES. Vitória, 2008.

SAMPAIO, S. L. M. de; ALMEIDA, J. A. Calcário e Dolomito. In: FREITAS, L.F.A. e LUZ, A.L. (Org.). **Rochas e Minerais industriais**. Rio de Janeiro, CETEM 2005. p. 327-350.

SILVA, L. S. da, Calagem em Solos de várzea e a disponibilidade de nutrientes na solução do solo após o alagamento. **Ciência Rural**, v.35 n. 5, p. 1054 – 1061. 2005.

SOUSA, J. F.; HOLANDA VIDAL, F. W. **Rochas Carbonáticas** Rio de Janeiro, CETEM 2005. p. 49-66.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F.A. DE O.; VAHL, L. C. Solos Alagados (Reações redox). In: MEURER, E.J. **Fundamentos de Química do Solo**, 2. ed. Porto Alegre: Gênese, 2004, 290 p.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico 5).

TSUTIYA, M. T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** ABES: Rio de Janeiro, 1999.

UFV. **Sistema para análises estatísticas, Versão 9.1**: Fundação Arthur Bernardes. Viçosa, 2007. Windows XP.

VIEIRA, C. M. F. Utilização de granito em massa cerâmica para telhas. **Cerâmica Industrial**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 28-32. 2004.

VIEIRA JÚNIOR, H. T. **Proposta de Recuperação da Granalha não ativa no Desdobramento de Rochas Ornamentais em Teares Multilâminas**: Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pos-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VILLASCHI FILHO, A.; PINTO, M. M.; **Arranjos Produtivos e Inovações Localizadas: o caso do segmento de rochas ornamentais no noroeste de Estado do Rio de Janeiro**: nota técnica 16. Rio de Janeiro, 2000 (Estudos Empíricos). SECEX.

WUTKE, A. C.; GARGANTINI, H.; GOMES, A. G. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivo da acidez do solo. **Bragantia**, v. 21, p. 795-805. 1962.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)