

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

NATIÉLIA OLIVEIRA NOGUEIRA

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
INICIAL DE *Coffea arabica* L. INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO
DE CORRETIVOS ALTERNATIVOS**

**ALEGRE
2009**

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

NATIÉLIA OLIVEIRA NOGUEIRA

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
INICIAL DE *Coffea arabica* L. INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO
DE CORRETIVOS ALTERNATIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz

**ALEGRE
2009**

N778p Nogueira, Natiélia Oliveira, 1984-
Propriedades químicas do solo e desenvolvimento inicial de *Coffea arabica* L. influenciados pela aplicação de corretivos alternativos / Natiélia Oliveira Nogueira. – 2009.
88 f. : il.

Orientador: Marcelo Antonio Tomaz.

Co-orientadores: Felipe Vaz Andrade e Edvaldo Fialho dos Reis.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Cafeeiro. 2. Calcário. 3. Escória. 4. Minerais na nutrição de plantas. 5. Óxido de magnésio. I. Tomaz, Marcelo Antonio. II. Andrade, Felipe Vaz. III. Reis, Edvaldo Fialho dos. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

NATIÉLIA OLIVEIRA NOGUEIRA

**PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO
INICIAL DE *Coffea arabica* L. INFLUENCIADOS PELA APLICAÇÃO
DE CORRETIVOS ALTERNATIVOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 28 de agosto de 2009.

Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz
CCA – UFES (Orientador)

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
CCA – UFES (Co-orientador)

Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade
CCA – UFES (Co-orientador)

Pesq. Dr. Guilherme Kangussú Donagemma
EMBRAPA (membro externo)

Pesq. Dr. Julio Cesar Guedes Correia
CETEM (membro externo)

Pesq. Dr. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro
CETEM (membro externo)

Esta dissertação é dedicada com muito amor á minha avó paterna, Maria Cunha Nogueira (in memorian) que estará sempre presente em minha memória, por constituir um exemplo de vida marcado pela simplicidade, sinceridade e, sobretudo, pela bondade e amor ao próximo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, sempre e acima de tudo.

Ao Centro de Ciências Agrárias do Espírito Santo, pela oportunidade de estudo, e ao CETEM e CNPq, pela bolsa concedida.

Ao Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz, professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, pela orientação.

Ao Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade, professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, pela co-orientação durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, professor do Departamento de Engenharia Rural do CCA-UFES, pelos conselhos estatísticos.

Aos pesquisadores Dr. Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Dr. Julio Cesar Guedes Correia e Dr. Guilherme Kangussú Donagemma, pela grandiosa contribuição neste trabalho.

Aos professores do curso de Agronomia e do curso de Pós-Graduação, pelos ensinamentos transmitidos ao longo dos cursos.

Aos técnicos de laboratório: Sílvio (Nutrição Mineral de Plantas), Marcelo e Maraboti (Química do solo), Alessandro e Luiz (LAFARSOL), José Maria (Sementes) e Sônia (Física do Solo), por estarem sempre prontos a nos atender, pelo carinho e apoio.

Aos motoristas do CCA-UFES, pelas viagens às coletas de solos.

Aos meus pais Guanair Nogueira e Noêmia Frezer de Oliveira Nogueira, pelo trabalho e pelo esforço que nunca mediram para que vencêssemos juntos. Pela paciência, amor, compreensão, apoio, torcida e pelas dificuldades que me ensinaram a superar. Pelas pessoas maravilhosas que são, pelo exemplo de vida, pela educação que me deram e que me permitiu chegar até aqui.

Aos meus irmãos, Flávia, Jocinério e Welington, pelos exemplos de dedicação, disciplina, determinação e força de vontade. Obrigada por serem irmãos amáveis, presentes, atenciosos, abertos ao diálogo e por terem sido escolhidos pelas mãos de Deus para partilharem momentos mais do que únicos comigo nesta terra.

Aos graduandos em Agronomia, Lima Deleon Martins e Sebastião Vinícius Batista Brinate, cujo acompanhamento diário possibilitou a manutenção das condições necessárias ao experimento, e pelo carinho e apoio em todos os momentos.

Aos graduandos em Agronomia, bolsistas de Iniciação Científica, Amarilson de Oliveira Candido, Danilo Andrade Santos (Lampião), Ramirez Ventura, Joel Cardoso, Lucas Pilon e os demais bolsistas do Laboratório de Física do solo do CCA-UFES, pela valorosa contribuição a este trabalho.

Aos amigos Carlos Magno Ramos e Janaína Mauri, pela prontidão e apoio nos momentos difíceis deste experimento.

Aos meus queridos e adoráveis amigos da graduação e mestrado, Rosilaine, Lidiane, Carolina, Débora, Leonardo, José Maria, Tatiana, Flávio, Maria José e Camila, por tantos aperreios e emoções vividas durante todo este tempo.

Às minhas irmãs de coração, Penha Nogueira, Joice Nogueira e Soninha Silva, por tudo que sempre me ensinaram, por tudo que vivemos, enfrentamos, superamos e aprendemos juntas.

Ao meu namorado Onair Mendes, pelo imensurável apoio, amor, compreensão, companheirismo, cumplicidade e pela ajuda que me permitiu criar metas e abraçá-las.

“É melhor tentar e falhar, que preocupar-se, e ver a vida passar, é melhor tentar ainda que em vão, que sentar-se fazendo nada até o final.

Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias tristes em casa me esconder, prefiro ser feliz, embora louco, que em conformidade viver!”

Martin Luther King

BIOGRAFIA

Natiélia Oliveira Nogueira, nascida em Iúna, Sul do Espírito Santo, em 01 de agosto de 1984. Filha de Guanair Nogueira e Noêmia Frezer de Oliveira Nogueira, cursou o ensino fundamental na Escola Municipal Adelaide Rodrigues Moreira em Ibatiba-ES, e o ensino médio na Escola Estadual de Primeiro e Segundo Grau Professora Maria Trindade de Oliveira, em Ibatiba-ES. No segundo semestre de 2002, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Espírito Santo. Estagiou no Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), em Ibatiba-ES, dedicando-se à cultura do cafeeiro. Estagiou no Centro Experimental de Extensão e Pesquisa Cafeeira Eloy Carlos Heringer (CEPEC), em Martins Soares-MG. Foi monitora de Zoologia para Ciências Agrárias para o curso de Agronomia e Engenharia Florestal no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo e estagiou no programa de capacitação de agentes para a produção de mudas. Em agosto de 2007, concluiu o curso de Agronomia. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) em agosto de 2007.

RESUMO

A grande quantidade de resíduos do setor industrial ocupando áreas de descarga cada vez maiores, constituindo atualmente sérios problemas ambientais, vem alertando para a utilização adequada desses materiais que, além de reduzir os impactos ambientais, tem demonstrado potencial para utilização na agricultura. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de doses de diferentes corretivos da acidez do solo em dois Latossolos nas propriedades químicas do solo e no desenvolvimento inicial do *Coffea arabica* L. O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação. Amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVAarg) e um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (LVAméd) foram coletadas no município de Alegre-ES. Em seguida, os solos foram secos ao ar e passados em peneira de 2 mm, para caracterização química e física, posteriormente foram separadas amostras de volumes de 10 dm³ e nas mesmas foram aplicados as seis doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de calagem) dos três corretivos (calcário, escória de siderurgia e óxido de magnésio) no Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa e no Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média. Posteriormente, amostras de solo foram acomodadas em sacos de plástico e incubadas por 28 dias, depois efetuado o plantio das mudas de *Coffea arabica* L.. Após 180 dias de cultivo, procedeu-se as análises químicas de solo, analisando pH, H+Al, Al³⁺, cálcio, magnésio, fósforo e potássio, bem como determinou-se a matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca das raízes (MSR), matéria seca total (MSR) e os teores dos macronutrientes (cálcio e magnésio) na folha do *Coffea arabica* L. Os resultados mostram que o óxido de magnésio promove uma maior redução do alumínio trocável e incremento de cálcio, magnésio, fósforo e potássio no solo em relação a escória e calcário para o LVAarg e o LVAméd. A aplicação de doses crescentes dos corretivos da acidez do solo (calcário e escória) favorece um incremento na produção de matéria seca da parte aérea, raízes e total do cafeeiro. A aplicação das maiores doses do corretivo da acidez do solo óxido de magnésio favorece um decréscimo na produção de matéria seca da parte aérea, radicular e total do cafeeiro. A aplicação de doses crescentes dos corretivos da acidez do solo, de maneira geral, promove um aumento nos teores de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro. A escória de siderurgia e o óxido de magnésio demonstram grande

potencial como corretivos de acidez e fonte de cálcio e magnésio, respectivamente. Entretanto, o óxido de magnésio influencia negativamente a produção de matéria seca do cafeeiro com as maiores doses utilizadas, ressalta-se que o óxido de magnésio deve ser usado em quantidades menores para favorecer o desenvolvimento do cafeeiro.

Palavras-chave: Acidez do solo. Cafeeiro. Calcário. Escória de siderurgia. Nutrição mineral de plantas. Óxido de magnésio.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of the application of different doses from agricultural liming materials in two latosols and the chemical characteristics of the soil and in the initial development of *Coffea arabica* L. The study was developed in greenhouse. Samples of a red-yellow latosol with clay texture and a red-yellow latosol with medium texture were collected in the municipal district of Alegre - ES, Brazil. After having collected, the material of the soils was dry to the air and past through sieve of 2 mm, for chemical and physical characterization. Later, the samples were separated in volumes of 10 dm³ and applied the six doses (0, 25, 50, 75, 100 and 125% of the limestone need) of three corrective acidity (limestone, calcium silicate slag and magnesium oxide), in both studied soils. Later, soil samples were suitable in sacks of plastic and incubated by 28 days. After 180 days of cultivation, it was accomplished the chemical analyses of soil, being certain: pH, H⁺Al, Al³⁺, Ca, Mg, P and K, shoot dry matter, root dry matter, total dry matter and the tenors of the macronutrients (Ca, Mg) in the leaf of *Coffea arabica* L. The results show that the magnesium oxide promotes a larger reduction of the acidity of the soil and increment of Ca, Mg, P and K in the soil in relation to calcium silicate slag and limestone for both studies soils. The application of growing doses of the alternative corrective acidity (limestone and calcium silicate slag) favors an increment in the production of shoot dry matter, root dry matter and total dry matter of the coffee. The application of growing doses of the alternative corrective acidity (magnesium oxide) favors a decrease in the production of shoot dry matter, root dry matter and total dry matter of the coffee. The application of growing doses of the alternative corrective acidity, in a general way, promotes an increase in the tenors of calcium and magnesium in the leaf of the coffee. The calcium silicate slag and magnesium oxide show great potential like correction of acidity and source of Ca and Mg, however the oxide of magnesium influences negatively to the production of dry matter of the coffee.

Key words: Coffee. Limestone. Calcium silicate slag. Soil Fertility. Mineral nutrit higher plants.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Atributos físicos e químicos dos solos estudados.....	36
Tabela 2 –	Características químicas dos corretivos utilizados.....	37
Tabela 3 –	Valores médios de pH do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) para cada dose (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo).....	40
Tabela 4 –	Valores médios de pH do solo em função dos corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio).....	40
Tabela 5 –	Valores médios de H+Al (cmol _c .dm ⁻³) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	42
Tabela 6 –	Valores médios de H+Al (cmol _c .dm ⁻³) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	43
Tabela 7 –	Valores médios de Al ³⁺ (cmol _c .dm ⁻³) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) para o LVAarg e o LVAméd).....	45
Tabela 8 –	Valores médios de cálcio (cmol _c .dm ⁻³) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	47
Tabela 9 –	Valores médios de cálcio (cmol _c .dm ⁻³) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	48

Tabela 10 – Valores médios de magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	50
Tabela 11 – Valores médios de magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	50
Tabela 12 – Valores médios de capacidade de trocas de cátions ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	52
Tabela 13 – Valores médios de capacidade de trocas de cátions ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	52
Tabela 14 – Valores médios de saturação por bases (%) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	54
Tabela 15 – Valores médios de saturação por bases (%) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	55
Tabela 16 – Valores médios de fósforo ($\text{mg}.\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	57

Tabela 17 – Valores médios de fósforo (mg.dm^{-3}) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	58
Tabela 18 – Valores médios de potássio (mg.dm^{-3}) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	60
Tabela 19 – Valores médios de potássio (mg.dm^{-3}) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	61
Tabela 20 – Valores médios de produção de matéria seca da parte aérea (g.vaso^{-1}) em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	63
Tabela 21 – Valores médios de produção de matéria seca da parte aérea (g.vaso^{-1}) em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	63
Tabela 22 – Valores médios de produção de matéria seca radicular (g.vaso^{-1}) em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	65
Tabela 23 – Valores médios de produção de matéria seca radicular (g.vaso^{-1}) em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	67

Tabela 24 – Valores médios de produção de matéria seca total (g.vaso ⁻¹) em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio).....	69
Tabela 25 – Valores médios de produção de matéria seca total (g.vaso ⁻¹) em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	69
Tabela 26 – Valores médios de teores de cálcio (cmol _c .dm ⁻³) da folha em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para os corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio).....	71
Tabela 27 – Valores médios de teores de cálcio (cmol _c .dm ⁻³) da folha em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	71
Tabela 28 – Valores médios de teores de magnésio (cmol _c .dm ⁻³) da folha em função dos solos (LVAarg e LVAméd) em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para os corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio).....	74
Tabela 29 – Valores médios de teores de magnésio (cmol _c .dm ⁻³) da folha em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).....	74

LISTAS DE FIGURAS

- Figura 1** – Valores médios de pH do solo em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg e o LVAméd..... 41
- Figura 2** – Valores médios de H^+Al ($cmol_c.dm^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b)..... 44
- Figura 3** – Valores médios de Al^{3+} ($cmol_c.dm^{-3}$) para o LVAarg e o LVAméd em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) (a) e valores médios de Al^{3+} ($cmol_c.dm^{-3}$) para os corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) (b)..... 46
- Figura 4** – Valores médios de cálcio ($cmol_c.dm^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b)..... 49
- Figura 5** – Valores médios de magnésio ($cmol_c.dm^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b)..... 53
- Figura 7** – Valores médios de saturação por bases ($cmol_c.dm^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b)..... 56

- Figura 8** – Valores médios de fósforo (mg.dm^{-3}) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAMed (b)..... 59
- Figura 9** – Valores médios de potássio (mg.dm^{-3}) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) estudadas para o LVAarg (a) e o LVAMed (b)..... 61
- Figura 10** – Valores médios de produção de matéria da parte aérea (g.vaso^{-1}) para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAMed (b)..... 64
- Figura 11** – Valores médios de produção de matéria seca radicular (g.vaso^{-1}) solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAMed (b)..... 67
- Figura 12** – Valores médios de produção de matéria seca total (g.vaso^{-1}) para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAMed (b)..... 70
- Figura 13** - Valores médios de teores de cálcio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) da folha para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAMed (b)..... 72

Figura 14 - Valores médios de teores de magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) da folha para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) estudadas para o LVAarg (a) e o LVAmed (b)..... 75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.2 FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL DO CAFEIEIRO	22
2.3 ACIDEZ DOS SOLOS	23
2.4 CALCÁRIO	25
2.5 USO ALTERNATIVO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS.....	27
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 SOLOS	34
3.2 EXPERIMENTO	35
3.2.1 Instalação e Condução	35
3.3 AVALIAÇÕES.....	37
3.3.1 Plantas	37
3.3.2 Solos	37
3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	38
4.1.1 Fatores de acidez	38
4.1.2 Cálcio e magnésio trocáveis no solo	45
4.1.3 Capacidade de trocas de cátions e saturação por bases	50
4.1.4 Fósforo e potássio	55
4.2 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA, DO SISTEMA RADICULAR E TOTAL DO <i>Coffea arabica</i> L.	61
4.3 TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA FOLHA.....	69
4.3.1 Teor de cálcio na folha	69
4.3.2 Teor de magnésio na folha	72
5 CONCLUSÕES	75
6 REFERÊNCIAS	76
APÊNDICES	84
Apêndice A – Resumo da análise de variância de pH, H+Al e Al ³⁺ do solo.	85
Apêndice B – Resumo da análise de variância de Ca e Mg do solo.....	85
Apêndice C – Resumo da análise de variância de CTC e V do solo.....	86

Apêndice D – Resumo da análise de variância de P e K do solo.....	86
Apêndice E – Resumo da análise de variância da produção da matéria seca da parte aérea (MSPA), produção da matéria seca radicular (MSR) e produção da matéria seca total (MST) de <i>Coffea arabica</i> L.....	87
Apêndice F – Resumo da análise de variância de Ca e Mg da folha de <i>Coffea arabica</i> L.....	87

1 INTRODUÇÃO

O café é considerado uma das mais importantes *commodities* agrícolas do mercado mundial, é o segundo maior gerador de riquezas do planeta, constituindo-se em um mercado gigantesco, perdendo apenas para o petróleo. A atividade cafeeira tem grande importância econômica e social para pequenos, médios e grandes agricultores gerando riquezas e divisas no país. O Brasil se destaca como maior produtor e segundo consumidor de café do mundo, e o Estado do Espírito Santo como segundo maior produtor de café do país, atrás apenas de Minas Gerais.

Com a expansão das lavouras cafeeiras no Estado do Espírito Santo, as áreas mais férteis foram se esgotando e hoje as lavouras se estendem por extensas áreas de solos com baixa fertilidade natural. Esse fato, aliado à elevada quantidade de nutrientes extraídos pelo cafeeiro, gera cada vez mais a necessidade de aplicação de corretivos e adubos por parte dos produtores a fim de maximizar sua produção, além de obter outros benefícios proporcionados pela adequada nutrição.

Apesar das exigências nutricionais da cultura, a atual cafeicultura brasileira está implantada principalmente em solos ácidos e, conseqüentemente, baixos teores de cálcio e magnésio e teores relativamente altos de alumínio e manganês, o que torna a calagem uma prática indispensável (GARCIA, 1983).

Devido à alta quantidade de solos ácidos, como os Latossolos, que ocupam grande parte do território brasileiro e, para um adequado aproveitamento agrícola dessas áreas, a correção da acidez do solo torna-se uma prática para promover a neutralização do alumínio tóxico e fornecer cálcio e magnésio, elementos de grande importância para diversas culturas.

Atualmente, os produtos mais comuns utilizados para neutralizar a acidez do solo são os carbonatos de cálcio e magnésio, conhecidos como calcário. Apesar de o calcário ser hoje uma fonte barata e acessível aos produtores, pode se tornar esgotável com o tempo, se tornando um produto caro e de difícil acesso ao produtor rural.

A grande quantidade de resíduos do setor industrial ocupa áreas de descarga cada vez maiores e representa atualmente sérios problemas ambientais. O manejo adequado desses materiais pode, além de reduzir os impactos ambientais, ser uma alternativa viável de utilização na agricultura. O emprego desses resíduos nas áreas agrícolas como corretivos alternativos de acidez do solo surgem como uma alternativa que objetiva melhorar as características químicas do solo e reduzir possíveis impactos ao ambiente, contudo, tal utilização deve ser precedida de estudos de impacto ambiental e de viabilidade técnica.

Dentro dos materiais corretivos alternativos, a escória siderúrgica proveniente da reação da sílica do minério de ferro com o cálcio do calcário no alto forno é constituída por silicatos de cálcio e magnésio e comportam-se de forma semelhante aos calcários (AMARAL SOBRINHO et al., 1993), podendo ser utilizadas como corretivo de acidez do solo devido à sua ação neutralizante em solos ácidos (ANDERSON; BOWER, 1992). A dissociação do silicato de cálcio e de magnésio com formação de íons hidroxila é responsável pela neutralização dos íons hidrogênio na solução do solo, que também são os responsáveis pela sua acidez (ALCARDE, 1992).

Outro produto que também apresenta potencial de utilização na cultura do café como fonte de magnésio e correção de acidez do solo é o óxido de magnésio, obtido da calcinação da Magnesita ($MgCO_3$). Esse óxido é um produto intermediário do processo industrial de produção de refratários.

Diante do exposto, o propósito deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de corretivos alternativos de acidez do solo (escória de siderurgia e óxido de magnésio) e calcário nas propriedades químicas do solo e no desenvolvimento inicial do *Coffea arabica* L.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CULTURA DO CAFÉ

O cafeeiro é um arbusto da família das Rubiáceas, do gênero *Coffea*, nativa dos sub-bosques das florestas tropicais da Etiópia e sul do Sudão (CAMARGO; PEREIRA, 1994), que foi introduzido no Brasil em 1727, na região norte do país mais precisamente no Estado do Pará, expandindo-se até a Bahia, atingindo o Rio de Janeiro e daí passando para o Espírito Santo, e Minas Gerais e depois para os Estados de São Paulo e Paraná (MATIELLO; CARVALHO, 1983).

Existe um grande número de espécies de café, entretanto, somente duas merecem destaque pela importância econômica, que são *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre. Essas duas espécies atendem 100% do consumo mundial de café, as demais espécies possuem importância para o banco de germoplasma, indispensáveis nos programas de melhoramento (FAVARIM, 2004).

Atualmente o Brasil é o maior produtor mundial de café, sendo responsável por 30% do mercado internacional, sendo sua produção formada por 70 a 75% de café arábica cultivados principalmente no Estado de Minas Gerais, maior produtor, seguido por Espírito Santo, São Paulo, Paraná e Bahia. Dados relativos à safra 2008/2009 apresentam uma produção de café beneficiado em torno de 9,5 milhões de sacas para o Estado Espírito Santo. Desse total, 25,3% (2,4 milhões de sacas) são de arábica e 74,7% (7,1 milhões de sacas) são de robusta (CONAB, 2009).

A cafeicultura e suas atividades geram divisas e empregos de forma significativa nos mais variados setores, com participação de 43,25% do valor bruto da produção agropecuária capixaba, fixando o homem no campo, promovendo melhor a interiorização e contribuindo para o desenvolvimento econômico e social (FERRÃO et al., 2007). No Espírito Santo, a produção do café arábica ocorre, em sua maioria, em propriedades de agricultura familiar, estando hoje, presente em aproximadamente 20 mil propriedades do estado gerando trabalho a 53 mil famílias e 150 mil empregos diretos (INCAPER, 2009).

Fatores capazes de reduzir o potencial produtivo das lavouras de café estão em grande parte relacionados às características do solo onde a cultura é implantada. No Estado do Espírito Santo, a maioria das lavouras de café arábica está implantada em solos caracterizados como ácidos e com baixa reserva de nutrientes. Esse fato pode ser explicado pelo processo de formação desses solos, que em condições de temperaturas elevadas e regime hídrico intenso, promoveu alto índice de intemperismo, o que ocasionou elevada lixiviação de bases (LUCHESE et al., 2002), tornando-se de fertilidade limitada, conseqüência também do manejo desses solos, exposição do solo ao impacto de gota de chuva e exportação de nutrientes.

Em solos ácidos, ocorre a diminuição na disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e molibdênio, e aumento da solubilização de íons como zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio que, dependendo do manejo do solo e da adubação utilizada, podem atingir níveis tóxicos às plantas (DE MARIA et al., 1993).

Em diversos trabalhos (CATANI; MORAES, 1958; CATANI, 1967; LAZZARINI et al., 1975; GARCIA, 1983), é evidenciada a exigência do cafeeiro pelos elementos cálcio e magnésio que são, respectivamente, o terceiro e o quarto nutrientes mais absorvidos pelo cafeeiro em produção.

Desse modo, vários pesquisadores têm encontrado relações altamente significativas entre a produtividade do cafeeiro e os valores de cálcio no solo e nas folhas (MALAVOLTA, 1986; SANTINATO et al., 1986; SANTINATO et al., 1983). Essas relações são devidas a grande demanda desse nutriente pelo cafeeiro. O cálcio é um nutriente de extrema importância para a planta, pois faz parte da constituição da parede celular e do sistema radicular, as raízes só se desenvolvem bem onde o nutriente está presente.

Outro nutriente bastante importante para o cafeeiro é o magnésio, este elemento é constituinte da molécula de clorofila. Participa de uma série de processos vitais na planta que requerem e fornecem energia, como: fotossíntese, respiração, síntese de macromoléculas (carboidratos, lipídeos, proteínas), absorção iônica, na ativação de muitas enzimas, com importante papel na regulação do pH celular e no balanço cátion-ânion (PREZOTTI, 2007; FAQUIM, 2005).

O cálcio e o magnésio são essenciais ao cafeeiro, no entanto, a necessidade de cálcio é bem maior que a necessidade de magnésio. Segundo Garcia (1981), a relação ótima cálcio e magnésio no solo para o cafeeiro é de 2,5 a 3:1.

Considerando que a maioria dos solos sob café se encontra em um grau elevado de acidez e baixos teores de cálcio e magnésio, torna-se necessário a correção de acidez destes solos. Nesse sentido, é importante também buscar novos métodos e novos produtos para a melhoria da atividade cafeeira, e torná-la mais sustentável e rentável ao agricultor.

2.2 FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL DO CAFEIEIRO

Os solos tropicais, em geral, são incapazes de suprir de forma ideal todos os elementos requeridos pelas plantas cultivadas e, sobretudo, durante muitos anos de cultivo (CARVAJAL, 1984). Para assegurar que o Brasil mantenha a posição de maior produtor mundial de café, há necessidade de estudar e conhecer melhor as técnicas que permitam melhor avaliação da eficiência nutricional da cultura em solos ácidos e de baixa disponibilidade de nutrientes, uma vez que estes ocupam extensas áreas, climaticamente aptas ao cultivo do cafeeiro.

A classe de interpretação de fertilidade do solo, para os teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} no solo é assim considerada: para Ca^{2+} : teores baixos ($<1,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), teores médios ($1,5-4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e teores altos ($>4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$). Para Mg^{2+} : teores baixos ($<0,5 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), teores médios ($0,5-1,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) e teores altos ($>1,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) (PREZOTTI et al., 2007).

Martinez e outros (2004), avaliando a fertilidade dos solos de cafezais do Estado de Minas Gerais, na região de Patrocínio, registrou que, em cafezais com 5 a 9 anos de idade, os teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} , nas camadas de 0 a 5, 5 a 20 e de 20 a 50 cm foram, respectivamente, de 2,78; 1,75 e 1,12 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ de Ca^{2+} e 0,88; 0,66 e 0,43 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para Mg^{2+} , para uma produtividade média acima de 30 sacas por hectare, considerada uma elevada produtividade. No entanto, Santinato e outros (1983) verificaram que teores de Ca^{2+} de aproximadamente 4 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ e de Mg^{2+} entre

0,15 e 1,0 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ seriam adequados para um cafezal com a mesma produtividade e tipo de solo (LVA).

A análise química do solo é o principal critério para avaliar sua fertilidade e, conseqüentemente, a necessidade de adubação para as culturas (ORLANDO FILHO et al., 1994). Adicionalmente, a diagnose foliar consiste em um complemento à análise de solo, para a recomendação de fertilizantes, realizando de forma holística a avaliação dos fatores do solo e da planta, que poderiam estar limitando o crescimento, desenvolvimento e a produção do cafeeiro (CORRÊA et al., 2001).

Segundo Jesus (2008), a nutrição mineral do cafeeiro vem sendo abordada como prioridade em uma visão inovadora do equilíbrio nutricional, dos mecanismos de absorção dos nutrientes e das suas funções no metabolismo da planta, fatores estes associados aos aumentos de produtividade e qualidade. As exigências nutricionais do cafeeiro variam com a espécie e variedade e, deste modo, o diagnóstico do estado nutricional constitui fator indispensável no sistema de produção (COSTA, 2001). Se um dos elementos químicos essenciais à planta está disponível em quantidades insuficientes ou em composições químicas pouco absorvidas, a deficiência desse elemento provocará desarranjos nos processos metabólicos da planta (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Desta forma, a calagem e a adubação devem suprir os nutrientes em quantidade suficiente sem esquecer-se do equilíbrio adequado entre os vários nutrientes, visando seu melhor aproveitamento. Sendo assim o excesso de alguns é prejudicial, tanto pelo maior investimento necessário, como pelos desequilíbrios e antagonismos causados (MATIELLO et al., 2005).

2.3 ACIDEZ DOS SOLOS

A acidez do solo é um dos principais fatores capazes de reduzir o potencial produtivo dos solos tropicais, considerando que para as plantas, o aumento da acidez, o excesso de alumínio e a falta de cálcio resultam em baixo crescimento do sistema radicular, com exploração de pequenos volumes de solo, levando a baixa

aquisição de nutrientes e água (BRASIL,1992). Esse fato torna a cultura sujeita a deficiências minerais e susceptíveis a déficits hídricos, com influência negativa direta na produção.

Segundo Malavolta (1993), a origem da acidez dos solos pode ser explicada por quatro processos mais importantes: i) a lixiviação de bases ao longo dos anos (cálcio, magnésio e, em menor grau, potássio), que são substituídas por íons H^+ e, principalmente, íons Al^{+3} , os quais, em parte, passam para a solução do solo; ii) os processos de troca de cátions da solução do solo (K^+ , Ca^{+2} e Mg^{+2} , principalmente), durante a absorção radicular, por íons H^+ ; iii) a utilização de adubos nitrogenados amoniacais, ao serem nitrificados no solo, gera H^+ ; e iv) a utilização do cloreto de potássio durante a adubação o que aumenta os teores de alumínio e manganês, componentes da acidez do solo.

Silva (2006) descreve a acidez do solo como um processo que acontece à medida que os cátions básicos adsorvidos no complexo coloidal vão sendo deslocados para a solução do solo por íons H^+ e removidos do meio. Deste modo o solo será mais ácido, quanto menos dessa capacidade de troca for ocupada por cátions básicos como cálcio, magnésio, potássio e sódio.

Para o cultivo do café, a faixa adequada de pH encontra-se entre 5,6 a 6,0. A acidez elevada ($pH < 5,5$), associada a elevados teores de alumínio e/ou manganês e aos baixos teores de cálcio e magnésio presentes na maioria dos solos usados para cafeicultura, torna a correção da acidez uma prática fundamental ao cultivo dos cafezais.

No estabelecimento de uma cultura perene, como o cafeeiro, a calagem adequada na implantação é importante, visto que não será possível fazer incorporação dos corretivos no decorrer do ciclo dessa cultura. Assim, um solo ácido comprometerá a produtividade das plantas por muito tempo.

A recomendação da quantidade de corretivo de acidez a ser aplicada deve ser feita com base na análise do solo, e podem ser utilizados diferentes materiais na calagem dos solos: calcários (calcíticos, dolomíticos, magnesiano e calcário calcinado),

escórias de siderurgias (subprodutos da indústria do ferro e do aço), resíduos orgânicos entre outros (PAULETTI, 2004).

Portanto, os corretivos de acidez devem ter componentes básicos para que, quando em reação com a água do solo, seja capaz de ter como produto da reação a hidroxila (OH^-) e, desta forma promover a neutralização da acidez que consiste em neutralizar os íons H^+ , que é feito pelo ânion OH^- . O comportamento e a eficiência desses materiais no solo dependem de suas características, como a natureza química dos neutralizantes, o poder de neutralização, a solubilidade, a granulometria, etc.

2.4 CALCÁRIO

O uso do calcário é uma prática muito antiga realizada por gregos e bárbaros gauleses. Esses povos aplicavam o calcário ao solo de diversas formas para aumentar as colheitas (MALAVOLTA, 1980). No Brasil, essa técnica provavelmente vem sendo usada desde a década de 20, pois nessa época, em 1923, no Rio Grande do Sul, foi instalada a primeira indústria de calcário (BRDE, 1969).

O calcário é um produto obtido pela moagem da rocha calcária. Seus constituintes são geralmente o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o carbonato de magnésio (MgCO_3). Em função do teor de MgCO_3 , os calcários são classificados em: calcítico, com baixos teores de MgCO_3 (menos de 10%); magnésiano, com teores medianos de MgCO_3 (10 a 25%); e dolomítico, com teores altos de MgCO_3 (mais de 25%). Em razão da composição química, os principais componentes dos calcários, CaCO_3 e MgCO_3 , têm diferentes capacidades de neutralização de ácidos. A capacidade de neutralização, chamada de Poder de Neutralização (PN), é geralmente expressa em relação à do carbonato de cálcio (CaCO_3) puro, que é tomada como 100% ou equivalente em carbonato de cálcio (Eq CaCO_3). No caso do pó calcário, o PN deve ter o mínimo de 67% de Eq CaCO_3 e 38% da soma dos teores de $\text{CaO} + \text{MgO}$.

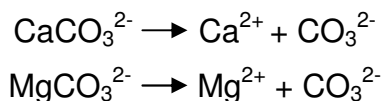
O poder relativo de neutralização total do calcário (PRNT) é uma medida da eficiência dos calcários que conjuga o poder de neutralização total com a eficiência

relativa de partículas de diferentes tamanhos, que estima quanto de calcário irá reagir em um período de aproximadamente três anos. Assim, para corrigir a acidez do solo, usa-se mais calcário quanto menor for o seu PRNT.

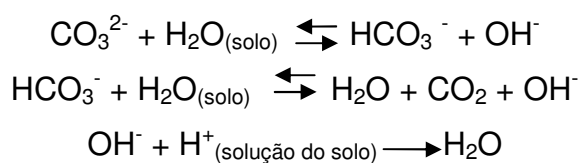
Atualmente, o calcário tem sido o produto mais frequentemente usado para correção da acidez dos solos, devido à abundância e frequência com que ocorre na natureza. No entanto, não se sabe quanto tempo esse produto continuará em abundância e com preço baixo e de fácil acesso ao produtor. Segundo Alcarde (1992), o sucesso da prática da calagem depende fundamentalmente de três fatores: quantidade adequada, características do corretivo utilizado e aplicação correta.

Segundo Alcarde (1992), o calcário no solo libera Ca^{2+} , Mg^{2+} e CO_3^{2-} ; a base química, isto é, o componente que proporciona a formação de OH^- é o CO_3^{2-} (e posteriormente o HCO_3^-). A OH^- produzida neutralizará o H^+ da solução, responsável pela acidez, conforme as seguintes reações:

Dissolução



Ação neutralizante:



O calcário favorece: a neutralização do alumínio trocável e a insolubilização do manganês; o fornecimento de cálcio e magnésio exigidos pelo cafeeiro; o aproveitamento das adubações químicas através do aumento do pH; o aumento da atividade microbiana do solo que leva a um aumento da capacidade de trocas de cátions, acelerando a decomposição da matéria orgânica; e o aumento das cargas dependentes de pH e, conseqüentemente, elevação da capacidade de troca de cátions e o desenvolvimento e a produção do cafeeiro (MATIELLO et al., 2005).

Os métodos recomendados para a avaliação da quantidade de calcário que deve ser adicionada ao solo são numerosos. Entretanto, os métodos considerados mais eficientes são aqueles que levam em conta a correlação existente entre a porcentagem de saturação por bases e o pH do solo (CATANI; GALLO, 1955; RAIJ et al., 1983).

O método de recomendação de corretivos de acidez utilizado no Espírito Santo constitui-se de uma adaptação ao método proposto por Catani e Gallo (1955), e prevê a quantidade a ser aplicada em função da elevação da saturação em bases do solo a distintos valores, dependendo da cultura a ser implantada.

2.5 USO ALTERNATIVO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial verificado nas últimas décadas, principalmente, o crescimento dos setores ligados à indústria metalúrgica, estão relacionados com um grande número de ações que colocam em risco o meio ambiente. Diariamente são produzidas imensas quantidades de resíduo industriais sendo que seu descarte muitas vezes não recebe um acondicionamento adequado, provocando poluição de águas, solos e ar, pondo em risco a saúde das populações e degradando o meio ambiente (CALBERONI, 2003).

Até pouco tempo atrás, a geração, o tratamento e a destinação dos resíduos industriais não eram questões prioritárias. Inicialmente, as agências de controle ambiental concentraram suas atenções na regulamentação dos padrões de emissão para os efluentes líquidos e as emissões atmosféricas, visando garantir a qualidade ambiental das coleções de água e do ar (OLIVIER, 2006). No entanto, a ausência de normas regulamentadoras específicas para os resíduos sólidos possibilitou a ocorrência de danos ambientais importantes, inclusive a geração de passivos, na maioria das vezes, de difícil atenuação (OLIVEIRA; LANGE, 2005).

Atualmente, a destinação dos resíduos industriais no Brasil é motivo de preocupação das autoridades e órgãos ambientais, seja devido às quantidades que vem sendo gerado, principalmente como resultado da elevada concentração industrial em

algumas regiões do país, seja pela carência de instalações e locais adequados para o tratamento e destino final desses resíduos.

A escória de aciaria gerada corresponde a cerca de 12,0 a 16,0 % da produção do aço mundial. No Brasil, para cada tonelada de aço produzido são gerados entre 70 e 170 kg dessa escória e por ano são produzidos mais de 4 milhões de toneladas. Cerca de 44 % da escória são destinados à sub-base de rodovias e 56 % são estocados. Assim, aproximadamente 2,24 milhões de toneladas são estocadas anualmente sem destinação imediata (CASTELO BRANCO, 2004)

Além dos resíduos industriais de alto forno, a produção de rejeitos gerados nos processos de extração e beneficiamento de rochas ornamentais e revestimento é grande. O Espírito Santo é líder na produção de rochas ornamentais no país, com cerca de 2,7 milhões de toneladas/ano, representando 56% da extração de granitos e 75% da produção de mármore em 2008. A cadeia produtiva da indústria de rochas ornamentais tem uma grande importância econômica no Estado do Espírito Santo. São inclusos como componentes dessa cadeia setores de extração e beneficiamento de mármore e granitos (MACHADO et al., 2009).

A quantidade de rejeitos originados nos processos de extração, em alguns casos pode atingir 60% do extraído, vem se acumulando nos pátios das empresas, tornando seu destino final um problema ambiental de grandes proporções. Assim, o grande desafio enfrentado por esse setor é desenvolver ações que resultem em possibilitar um destino viável desses rejeitos, provocando menor impacto ambiental aos ecossistemas, promovendo o desenvolvimento sustentável.

Para suprir as necessidades do mundo moderno, torna-se necessário o aumento da produção, que por sua vez contribui para o aumento de resíduos que nem sempre têm um destino ecologicamente correto. Como não é possível parar a produção, uma das grandes preocupações da atualidade consiste em reaproveitar os resíduos gerados nos diversos processos produtivos.

A grande quantidade de resíduos oriundos do setor de indústrias constitui atualmente um sério problema ambiental, com preocupação com o estoque e manejo desses materiais, que ocupam áreas de descargas cada vez maiores, além

dos inconvenientes ecológicos. Essa grande quantidade de resíduos tem impulsionado os órgãos de pesquisas a buscarem formas de utilização racional desses resíduos, sendo que a agricultura é um dos principais destinos para esses subprodutos. Destacando-se o uso como fonte de nutrientes e/ou corretivos da acidez do solo (CARVALHO-PUPATTO et al., 2003).

A indústria siderúrgica produz diariamente grandes quantidades de escória (GEYER, 2001; MACHADO, 2000). Para cada 4 toneladas de ferro-gusa produzidas, é gerada, em média, 1 tonelada de escória de alto forno (COELHO, 1998). No ano de 2007, o Brasil produziu quase 36 milhões de toneladas de ferro-gusa, o que corresponde a um acúmulo, somente naquele ano, de 9 milhões de toneladas de escória nos pátios das siderúrgicas. Com isso, surge a necessidade da destinação ou uso racional, sem prejuízo ao meio ambiente.

A escória de alto-forno é o resíduo do processo siderúrgico que tem como primeira etapa a obtenção do ferro bruto e impuro (ferro-gusa) por meio da redução do minério de ferro, enquanto a escória de aciaria é obtida no processo de produção do aço pela utilização do ferro-gusa, processo que exige menor grau de impureza (PRADO et al., 2001). Na sua composição, encontram-se diversos óxidos de cálcio, magnésio, silício, ferro e manganês, cujas quantidades e concentrações são decorrentes da constituição química da matéria-prima (minério de ferro, carvão, calcário ou cal) utilizada no processo de fabricação do produto, além do tipo de refratário usado na parede do forno (PRADO et al., 2001). O teor de silício total das escórias no Brasil varia conforme o tipo, sendo que a escória proveniente de aciaria apresenta entre 12 a 22 dag kg⁻¹, enquanto a escória de alto-forno, entre 36 a 42 dag kg⁻¹ (PIAU, 1995).

As escórias apresentam em sua composição constituintes neutralizantes (ALCARDE, 1992), Ca²⁺ e Mg²⁺ (PIAU, 1991), SiO₃²⁻ (WINSLOW, 1992). Entretanto, segundo Korndörfer e outros (2004), podem existir materiais derivados da indústria siderúrgica que apresentam elevados teores de metais pesados que, neste caso, inviabiliza seu uso agrícola.

As melhorias nas características químicas do solo pela utilização de escórias decorrem da ação neutralizante do silicato e, conseqüentemente, da elevação do pH

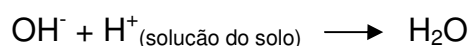
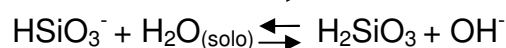
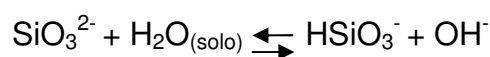
e dos teores de cálcio e magnésio, capacidade de trocas de cátions, saturação por bases e diminuição da concentração de H^+ Al (PRADO; FERNANDES, 2000).

De acordo com Alcarde (1992), a escória de siderurgia apresenta ação neutralizante semelhante ao calcário, através da base SiO_3^{2-} , conforme as seguintes reações :

Dissolução



Ação neutralizante:



Observa-se que na hidrólise são formadas duas hidroxilas por molécula de silicato, as quais irão reagir com os íons H^+ do solo, neutralizando assim a acidez.

Em um estudo realizado com escórias, Korndörfer e outros (2004) verificaram que a alta concentração de silicato de cálcio e magnésio nas escórias possibilitou sua utilização como corretivo de acidez do solo e como fonte de cálcio, magnésio e silício para as plantas, especialmente em solos arenosos com baixíssima fertilidade natural e baixa capacidade de trocas de cátions, além de outros benéficos para culturas acumuladoras de silício, como o arroz e a cana-de-açúcar, que tem refletido em tolerância a doenças e aumentos de produtividade (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995). A substituição do calcário pela escória de siderurgia pode ser vantajosa, principalmente em regiões onde tais materiais são obtidos facilmente.

Avaliando os efeitos da aplicação de escória silicatada e calcário como corretivos de acidez em um Latossolo Vermelho-Amarelo alumínico na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp), Prado e Fernandes (2001b) observaram que a escória foi semelhante ao calcário na correção da acidez do solo, na elevação da concentração de cálcio e magnésio do solo e na saturação por bases.

Em outro experimento realizado em solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos, Prado e Fernandes (2000) observaram liberação mais lenta de nutrientes quando utilizado a escória comparada ao calcário.

Barbosa Filho e outros (2004), estudando a influência da escória silicatada na acidez do solo, constataram que sua aplicação promoveu uma ação corretiva, com consequente aumento da saturação por bases e da disponibilidade de fósforo e cálcio trocável.

A maioria das pesquisas realizadas com escórias mostra que sua ação neutralizante na acidez do solo assemelha-se à do calcário (CORRÊA et al., 2003). Esse subproduto é amplamente utilizado em países como o Japão, a China, Estados Unidos, África do Sul e Angola (PRADO et al., 2001; PRADO; NATALE, 2004) e a Alemanha (MOTZ; GEISELER, 2001).

No entanto, esses resíduos siderúrgicos praticamente não são utilizados na agricultura brasileira, contrariamente ao que se nota em outros países. Isso, provavelmente, deve-se aos poucos dados experimentais obtidos no Brasil, em comparação com outros países (PRADO; FERNANDES, 2001b). Um fator importante a ser considerado na utilização desse subproduto, é considerar a concentração de metais pesados desses materiais que, em níveis elevados, podem limitar e/ou inviabilizar seu uso na agricultura (MENGEL; KIRKBY, 1987; ACCIOLY et al., 2000).

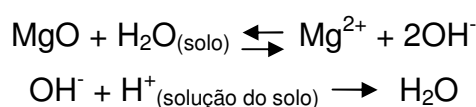
O óxido de magnésio é outro subproduto de indústrias que se apresenta como uma alternativa de uso agrícola como corretivo da acidez do solo. Esse subproduto possui características que evidencia grande potencial como fonte de magnésio para a melhoria de condições do solo usado para a agricultura, e como corretivo de acidez utilizado associado ao sulfato de cálcio (gesso agrícola), essa mistura pode ser uma alternativa de corretivos e fertilizantes fornecedores de magnésio, cálcio e enxofre como matéria prima no mercado nacional de fertilizantes. É proveniente da calcinação do carbonato de magnésio ($MgCO_3$), cuja composição química teórica é 47,7% de MgO e 52,3% de CO_2 , e apresenta até 94% de óxido de magnésio (MgO) e se movimenta em meio aquoso.

A correção da acidez de solo com o óxido de magnésio é semelhante à reação de correção do calcário. Ocorre a liberação do Mg^{2+} e CO_2 e, com a presença de água no solo, o OH^- produzido neutralizará o H^+ da solução, responsável pela sua acidez, conforme as seguintes reações:

Dissolução



Ação neutralizante:



Nos experimentos realizados com o óxido de magnésio, Defelipo e outros (1989), citados por Vecchi (1993), conseguiram demonstrar a importância desse subproduto na cultura do eucalipto, onde concluíram que: a) após um ano de plantio houve aumento da biomassa do eucalipto tanto para a aplicação de gesso ou óxido de magnésio; b) os maiores valores estimados para a aplicação em conjunto de gesso e óxido de magnésio são $250\ kg\cdot ha^{-1}$ e $115\ kg\cdot ha^{-1}$ respectivamente; e c) as doses para aplicação isolada são de $206,4\ kg\cdot ha^{-1}$ de óxido de magnésio e $250\ kg\cdot ha^{-1}$ de gesso.

Defelipo e outros (1990), citados por Vecchi (1993), realizaram um experimento com milho e soja, em um Latossolo Vermelho-Escuro, com a finalidade de verificar a influência da adição do óxido de magnésio ao superfosfato triplo e ao gesso. Ao final do experimento, os autores concluíram que para o cultivo do milho, a adubação com óxido de magnésio não apresentou respostas positivas, ocorrendo o inverso com o gesso. No entanto, com a cultura da soja obtiveram resultados promissores com a utilização do óxido de magnésio e não obtiveram resultados satisfatórios com a aplicação do gesso, ocorrendo interação positiva entre óxido de magnésio e o superfosfato triplo na produção da soja. As melhores produções foram obtidas com $150\ kg\cdot ha^{-1}$ de P_2O_5 com $45\ kg\cdot ha^{-1}$ de óxido de magnésio.

Vecchi (1993), estudando o efeito da utilização de calcário, óxido de magnésio e gesso em Citrus, observou que: a) o tratamento óxido de magnésio/gesso promoveu uma maior lixiviação de magnésio no perfil do solo e do potássio para o subsolo; b) a

aplicação da mistura óxido de magnésio e gesso proporcionou maior produção em relação à testemunha; c) a aplicação de óxido de magnésio corrigiu a acidez superficial do solo e forneceu teores adequados de magnésio; e d) a aplicação do tratamento óxido de magnésio/gesso, promoveu aumento do pH e diminuiu o teor de Al^{3+} tóxico na profundidade de 41-60 cm.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 SOLOS

Foram coletadas amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa (LVAarg), e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura média (LVAméd), no município de Alegre. O município de Alegre-ES está situado a uma altitude aproximada de 250 m com coordenadas geográficas de 20° 45`S e 41° 30`W. O clima predominante é quente e úmido no verão e inverno seco, segundo o sistema Köppen, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23°C.

Essas amostras de solos foram retiradas na profundidade de 10-20 cm. Após coletadas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Foram retiradas subamostras representativas para caracterização física e química (Tabela 1).

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos dos solos estudados

Atributos	LVAarg	LVAméd
Areia Grossa (g kg ⁻¹) ¹	340,1	457,4
Areia Fina (g kg ⁻¹) ¹	134,7	158,4
Silte (g kg ⁻¹) ¹	63,7	35,1
Argila (g kg ⁻¹) ¹	461,6	349,1
Densidade do solo (kg dm ⁻³) ²	1,20	1,05
pH ³	4,0	4,2
P (mg dm ⁻³) ⁴	1,0	12,0
K (mg dm ⁻³) ⁵	27,0	44,0
Ca (cmolc dm ⁻³) ⁶	0,7	2,0
Mg (cmolc dm ⁻³) ⁶	0,4	0,4
Al (cmolc dm ⁻³) ⁷	0,9	0,6
H+Al (cmolc dm ⁻³) ⁸	8,5	3,5
Matéria orgânica (g kg ⁻¹) ⁹	31,4	13,3
Soma de Bases (cmolc dm ⁻³)	1,2	2,5
CTC potencial (cmolc dm ⁻³)	9,7	6,0
CTC efetiva (cmolc dm ⁻³)	2,1	3,1
Saturação por bases (%)	12,0	41,8
Saturação por alumínio (%)	43,7	19,3

¹. Método da Pipeta (Agitação Lenta); ². Método da Proveta; ³. pH em água (relação 1:2,5); ⁴. Extraído por Mehlich-1 e determinado por colorimetria; ⁵. Extraído por Mehlich-1 e determinado por fotometria de chama; ⁶. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por titulometria; ⁷. Extraído com cloreto de potássio 1 mol L⁻¹ e determinado por espectrofotômetro de absorção atômica; ⁸. Extraído com acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹, pH 7,0 e determinado por titulação; e ⁹. Extraído por oxidação, via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico e determinado por titulação (EMBRAPA, 1997).

3.2 EXPERIMENTO

3.2.1 Instalação e Condução

O Delineamento experimental utilizado foi em Blocos Casualizados (DBC), com distribuição fatorial de 2x3x6 com três repetições, sendo os fatores: dois Latossolos (LVAarg e LVAméd), três materiais corretivos de solo (calcário, escória e óxido de magnésio) e seis doses dos materiais corretivos (0%, 25%, 50%, 75%, 100% e 125 % da necessidade de calagem). As doses foram definidas utilizando o método da elevação da saturação por bases (PREZOTTI et al., 2007) elevando a saturação por bases para V% 60. As amostras de materiais corretivos utilizados foram padronizadas através de passagem em peneira de 60 *mesh* (250 µm), e seco em estufa a 105°C, e uma subamostra foi encaminhada ao Laboratório de Análises de fertilizantes, águas, minérios, resíduos, solos e plantas (LAFARSOL) em Jerônimo Monteiro-ES para análises químicas (Tabela 2).

Tabela 2 – Características químicas dos corretivos utilizados

Parâmetro	Calcário	Escória	Óx. de Magnésio
Óxido de cálcio (%)	31,4	37,0	-
Óxido de magnésio (%)	10,6	12,6	53,0
Dióxido de silício (%)	-	21,3	-
Poder de neutralização ¹	82,5	97,5	195,0
Eficiência Relativa (%) ²	100	100	100
PRNT (%) ³	82,5	97,5	195,0

¹: Poder de neutralização: $\%CaO \times 1,79 + \%MgO \times 2,48$; ²: Eficiência relativa: $[(A \times 0,0) + (B \times 0,2) + (C \times 0,6) + (D \times 1,0)]/100$, sendo A, B, C = % de corretivo que fica retido, respectivamente, nas peneiras nº 10, 20 e 50, e D = % de corretivo que passa na peneira nº 50; e ³: PRNT = $PN \times ER / 100$.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUFES) em Alegre-ES.

Realizada a caracterização dos solos, estes foram separados em amostras de 10 dm³, e submetidos à aplicação dos tratamentos (aplicação das fontes e doses de materiais corretivos). Em seguida, as amostras de solos foram acondicionadas e incubadas por 28 dias, mantendo a umidade do solo a 60% do VTP (volume total de poros), de acordo com Freire e outros (1980). Foram feitas pesagens diárias para reposição das perdas de água do solo.

Após o período de incubação, as amostras foram secas à sombra e homogeneizadas em peneira de malha 2 mm, para realização da adubação com fósforo e potássio de acordo com Prezotti e outros (2007). Utilizou-se KH₂PO₄ como fonte de potássio e fósforo para os tratamentos com calcário e escória, e KCL, CaHPO₄, CaSO₄ para os tratamentos com óxido de magnésio, com o objetivo de igualar a relação Ca²⁺ e Mg²⁺ entre os corretivos em 3:1.

Em seguida, as amostras de solos foram colocadas em vasos, e efetuou-se o plantio das mudas de café da cultivar Catuaí 44 que apresentavam três pares de folhas. A irrigação foi realizada diariamente com água destilada, mantendo-se umidade constante para todos os vasos através de pesagens.

A adubação nitrogenada com sulfato de amônio P.A foi realizada, baseando-se na marcha de acúmulo de nutrientes conforme Malavolta (1984). As doses (20 mg de nitrogênio por vaso) foram divididas em cinco aplicações aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o plantio. O controle de plantas daninhas e pragas foi realizado manualmente quando necessário.

3.3 AVALIAÇÕES

3.3.1 Plantas

Após 180 dias de cultivo, procedeu-se o corte das plantas, separando em parte aérea e raiz. A parte aérea (folhas e caules) foi acondicionada, separadamente, em sacolas de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C durante 72 horas para a determinação da produção de matéria seca de parte aérea (MSPA). As raízes foram removidas dos vasos, lavadas, secas à sombra e acondicionadas em sacos de papel, e colocados em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C durante 72 horas para a determinação da produção de matéria seca de raízes (MSR).

O material seco (parte aérea e raízes) do *Coffea arabica* L. foi triturado, separadamente, em moinho Wiley, provido de peneira de aço inoxidável com malhas de 0,42 mm e acondicionado em sacos de papel para análises químicas dos teores de cálcio e magnésio (SILVA, 1999).

3.3.2 Solos

Foram retiradas subamostras de solos das unidades experimentais para análise química que determinou o pH, H+Al, Al³⁺ e os teores de macronutrientes (fósforo, potássio, cálcio e magnésio), conforme EMBRAPA (1997).

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), utilizando-se o *Software SISVAR* (FERREIRA, 2000) e, quando significativos, foi utilizado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para os fatores qualitativos e a análise de regressão para os fatores quantitativos. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação (R^2).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

4.1.1 Fatores de acidez

Para o valor de pH no solo, observa-se pela análise de variância, no Apêndice A, que não há efeito significativo da interação tripla, apenas efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação dupla entre os fatores solos e doses, e também para o fator independente corretivos.

Para a interação dupla entre os fatores solos e doses, observa-se, na Tabela 3, que apenas na dose 0% da necessidade de calagem o valor de pH do solo não difere significativamente para os dois solos, enquanto que para as demais doses verifica-se diferença estatística, sendo inferior o valor de pH do solo para o LVAméd.

Na Tabela 3, verifica-se o estudo das doses dentro do LVAarg e LVAméd. Para o LVAarg, observa-se que o menor valor de pH do solo encontra-se na dose 0% e 25% de necessidade de corretivo que diferem entre si, enquanto que os maiores são encontrados para as doses acima de 75%. A dose 75% não difere das doses 50, 100 e 125%. No entanto, para o LVAméd, o maior valor de pH do solo é observado quando utilizado a dose 125%, sendo que o menor valor é encontrado para a testemunha (dose 0%), não havendo diferença estatística para as doses 25, 50, 75 e 100% da necessidade de corretivo.

Ao analisarmos o fator independente corretivos, verifica-se, na Tabela 4, que há diferença significativa entre o óxido de magnésio e os demais corretivos utilizados (calcário e escória). Sendo assim, o óxido de magnésio é mais eficiente no aumento do pH do solo, fato que pode estar relacionado à solubilidade e a granulometria desse corretivo de acidez.

Tabela 3 – Valores médios de pH do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) para cada dose (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo)

Solos	Doses (%)					
	0	25	50	75	100	125
LVAarg	4,14aD	4,58aC	4,76aBC	4,96aAB	5,08aA	5,20aA
LVAméd	3,98aB	4,07bAB	4,08bAB	4,22bAB	4,23bAB	4,26bA

*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 4 – Valores médios de pH do solo em função dos corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	pH do solo
Calcário	4,37b
Escória	4,42b
Óxido de magnésio	4,60a

*Médias seguidas de mesma letra, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Resultados semelhantes foram obtidos por Prado e Fernandes (2001b), que utilizando corretivos da acidez do solo, como escória de siderurgia e calcário, incorporados no solo em pré-plantio de cana-de-açúcar, não observaram diferenças entre ambos. O efeito corretivo da escória utilizada reflete as quantidades de CaO e MgO presentes em sua composição, devido à adição de calcário no processo da fabricação de aço e ferro-gusa (CAMPUS FILHO, 1981).

Quando se estuda a interação solos e doses, verifica-se, na Figura 1, que há aumentos dos valores de pH do solo à medida que se incrementavam as doses de corretivos para os dois Latossolos. Observa-se por meio de modelos ajustados para os valores de pH do solo, em função das doses dos corretivos estudados, um ajuste quadrático para o LVAarg (Figura 1a) e linear para o LVAméd (Figura 1b).

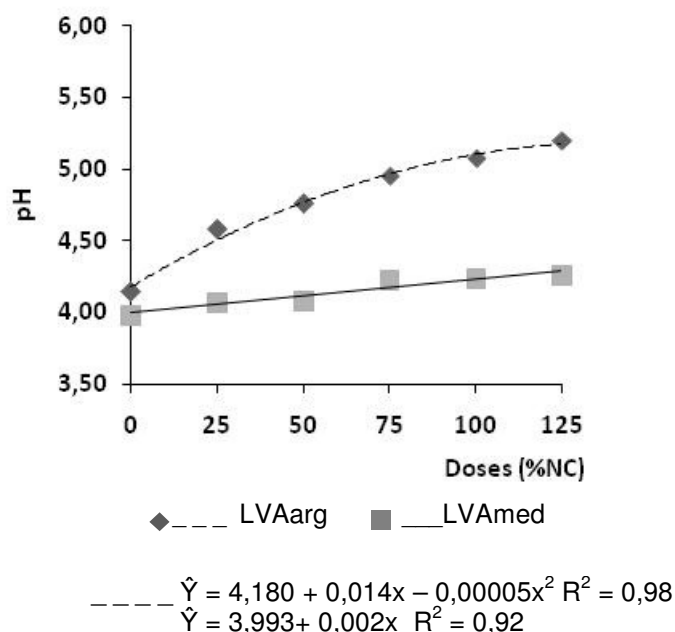


Figura 1 – Valores médios de pH do solo em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg e o LVAméd.

No entanto, com exceção das maiores doses dos corretivos para o LVAarg, os valores de pH dos demais corretivos para os solos estudados, ainda se encontram dentro da faixa de acidez elevada. Segundo Prezotti e outros (2007), valores de pH em água, abaixo de 5,0 são considerados solos de elevada acidez.

Tal fato pode ter ocorrido em função do LVAméd ser um solo de textura média e apresentar menor fator capacidade tampão, podendo ter sofrido variação de pH mais rapidamente no decorrer dos 180 dias do experimento, tanto pela retirada de cátions pelas plantas, como também pela influência de adubações com sulfato de amônio.

O fator capacidade tampão será tanto maior quanto mais elevado o teor de argilominerais, óxidos e matéria orgânica (grupos COOH), que são fontes de H^+ e Al^{3+} para solução do solo (MORELLI, 1986). Assim, solos menos argilosos e/ou pobres em matéria orgânica como o LVAméd (34,91% de argila e $13,30 \text{ g.kg}^{-1}$ de matéria orgânica) têm, portanto, menor fator capacidade tampão, em relação ao LVAarg com 46,16% de argila e $31,40 \text{ g.kg}^{-1}$ de matéria orgânica.

Para acidez potencial (H+Al), observa-se, pela análise de variância (Apêndice A), que a interação tripla é significativa ($p \leq 0,05$) entre os fatores solos, corretivos e doses.

Analisando a Tabela 5, para os dois solos utilizados, observa-se diferença significativa entre os valores médios de H+Al para o LVAarg e LVAméd para todas as doses com exceção da dose 100% da necessidade de corretivo quando utilizado o óxido de magnésio que não difere entre os solos utilizados.

Quando se avalia o comportamento dos corretivos utilizados em relação aos valores de H+Al, verifica-se, na Tabela 6, diferença significativa entre os corretivos para as doses 25, 50, 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo para o LVAarg. Os menores valores são encontrados nos tratamentos com o óxido de magnésio e calcário para as doses 25 e 50% da necessidade de corretivo, e o óxido de magnésio nas doses 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo. Os valores de H+Al obtidos no solo LVAméd, após a correção, são menores com a utilização do óxido de magnésio para as doses 25, 50, 100 e 125% da necessidade de corretivo, enquanto o calcário e a escória não se diferenciam estatisticamente. Apenas para a dose 75% de necessidade de corretivo, o óxido de magnésio não difere da escória, contribuindo para menores valores de H+Al comparada ao calcário.

Tabela 5 – Valores médios de H+Al ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	9,00a	6,70a	6,70a	6,73a	5,57a	5,37a
	LVAméd	4,97b	4,73b	4,43b	4,70b	4,67b	4,46b
Escória	LVAarg	8,80a	7,93a	7,83a	7,36a	5,16a	5,07a
	LVAméd	4,70b	4,63b	4,63b	4,53b	4,40b	4,00b
Óxido de magnésio	LVAarg	9,00a	6,97a	6,30a	4,63a	3,47a	3,87a
	LVAméd	5,13b	3,63b	3,63b	3,80b	3,13a	2,77b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 6 – Valores médios de H+Al ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	9,00a	6,70b	6,70b	6,73a	5,57a	5,37a
	Escória	8,80a	7,93a	7,83 ^a	7,36a	5,16a	5,07a
	Óxido de magnésio	9,00a	6,97b	6,30b	4,63b	3,47b	3,87b
LVAméd	Calcário	4,97a	4,73a	4,43a	4,70a	4,67a	4,46a
	Escória	4,70a	4,63a	4,63a	4,53ab	4,40a	4,00a
	Óxido de magnésio	5,13a	3,63b	3,63b	3,80b	3,13b	2,77b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Por meio do estudo do modelo, verifica-se que há diminuição da acidez potencial para os dois solos estudados (Figura 2). No LVAarg, observa-se ajuste quadrático dos teores de H+Al, quando utilizado os corretivos calcário e óxido de magnésio, e redução linear, quando utilizado a escória (Figura 2a). Enquanto que para o LVAméd observa-se redução linear do H+Al, quando utilizado os corretivos escória e óxido de magnésio, para o calcário não é possível ajustar um modelo de regressão (Figura 2b).

A acidez potencial do solo (H+Al) diminui com a adição dos corretivos, quando comparado à testemunha. A maior redução ocorre nos tratamentos com maiores doses de corretivos os quais apresentam valores de pH significativamente superiores aos demais (Figura 1).

A maioria dos valores médios de H+Al encontrados para o LVAarg estão dentro da faixa considerada por Prezotti e outros (2007) de alta acidez (valores maiores que $5,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), com valores menores quando aplicado as doses 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo. Estes valores elevados ao final do experimento podem estar relacionados ao alto valor de H+Al no solo antes da aplicação dos corretivos, conforme observado na Figura 2. Enquanto que todos os valores encontrados para o LVAméd se enquadram dentro da faixa de média acidez para Prezotti et al., (2007) ($2,5$ a $5,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) (Figura 2b).

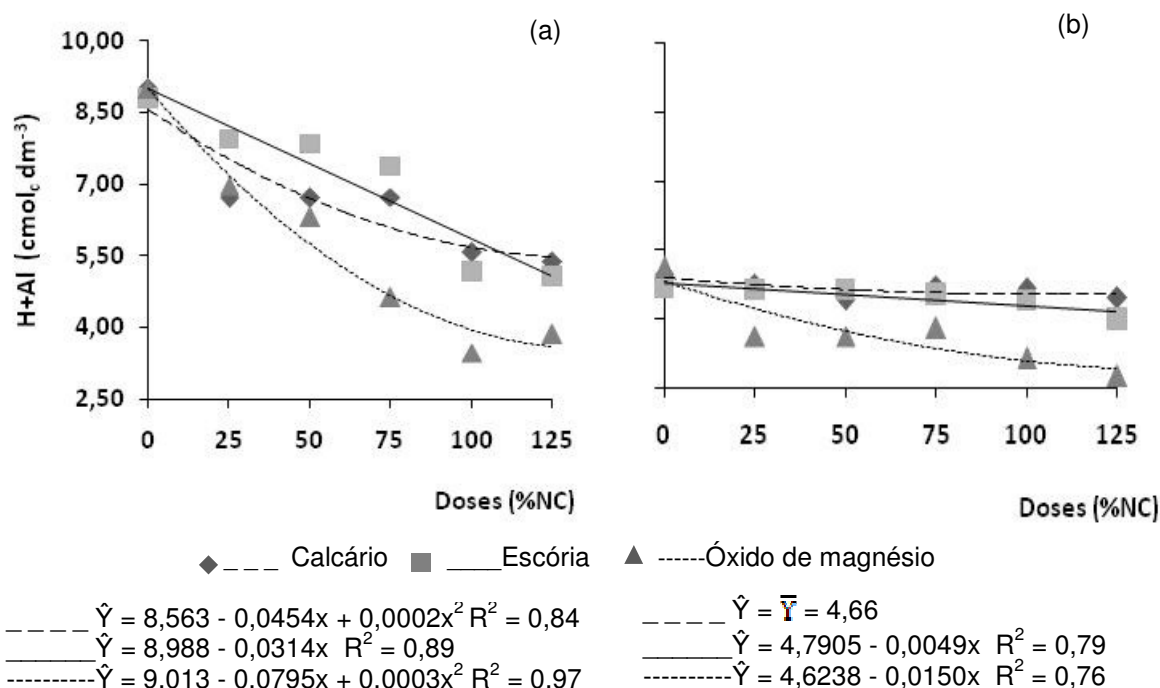


Figura 2 – Valores médios de H+Al ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg) (a) e o LVAmed (b).

Para acidez trocável, ou teor de alumínio (Al^{3+}) no solo, observa-se na análise de variância que não há efeito significativo da interação tripla, apenas efeito significativo ($p \leq 0,05$) para as interações duplas entre os fatores solos e doses, corretivos e doses, e solos e corretivos (Apêndice A).

Ao avaliar os teores de Al^{3+} para os solos estudados, verifica-se, na Tabela 7, que os dois Latossolos não diferem estatisticamente entre si, quando utilizado a escória. No entanto, para o LVAarg, quando aplicado o calcário e o óxido de magnésio, observa-se menores valores de Al^{3+} , ocorrendo uma maior correção de acidez no solo nessas condições.

Verifica-se uma maior redução dos valores obtidos de Al^{3+} com a aplicação do óxido de magnésio para o LVAarg, que por sua vez não difere estatisticamente do calcário. Não se observa diferença entre calcário e escória, e também entre os corretivos calcário e óxido de magnésio. No LVAmed, a escória não difere do óxido de magnésio, mas ambos diferem do calcário (Tabela 7). Esse fato pode estar relacionado á maior reatividade do óxido de magnésio comparado aos demais corretivos estudados.

Tabela 7 – Valores médios de Al^{3+} ($cmol_c \cdot dm^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) para o LVAarg e o LVAméd.

Corretivos	Solos	
	LVAarg	LVAméd
Calcário	0,48abB	1,03aA
Escória	0,57aA	0,62bA
Óxido de magnésio	0,39bB	0,53bA

*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os resultados dos corretivos alternativos (escória e óxido de magnésio) na correção da acidez do solo evidenciam os efeitos positivos na redução dos fatores indicadores de acidez. Resultados semelhantes foram obtidos por Prado e Fernandes (2000) em um Latossolo Vermelho distrófico e de um Neossolo Quartzarênico, cultivados com cana-de-açúcar em vaso, e por Prado e Fernandes (2001b), estudando diferentes níveis de saturação por bases, utilizando como corretivo a escória de siderurgia e o calcário.

Na Figura 3a, estudando a interação solos e doses, observa-se que o comportamento dos dois Latossolos se ajusta a um modelo de regressão quadrático. O mesmo comportamento quadrático é observado ao se estudar a interação dupla entre os fatores corretivos e doses, para todos os corretivos aplicados (Figura 3b).

O óxido de magnésio e a escória de siderurgia demonstram alto potencial de neutralização da acidez do solo com as mesmas doses utilizadas para o calcário, apresentando potencialidade na correção da acidez dos solos.

Os valores médios de Al^{3+} se enquadram na faixa de acidez elevada apenas para as testemunhas (valores maiores que $1,0 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) para os dois Latossolos, os demais valores se encontram dentro da faixa considerada por Prezotti e outros (2007), de média acidez no solo ($0,3$ a $1,0 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$).

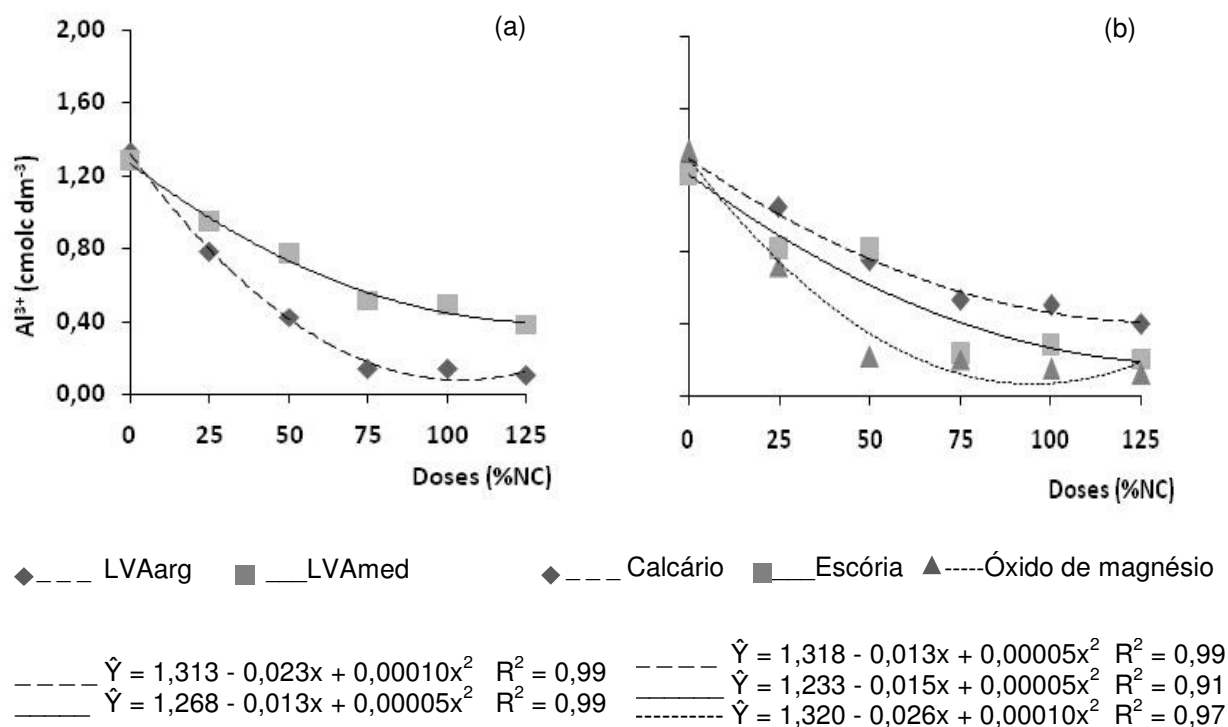


Figura 3 – Valores médios de Al^{3+} ($cmol_c \cdot dm^{-3}$) para o LVAarg e o LVAméd em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) (a) e valores médios de Al^{3+} ($cmol_c \cdot dm^{-3}$) para os corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) (b).

4.1.2 Cálcio e magnésio trocáveis no solo

Para os teores de cálcio e magnésio no solo, verifica-se pela análise de variância no Apêndice B, efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses para ambos macronutrientes.

Na Tabela 8, observa-se que há diferença significativa entre os dois Latossolos para o cálcio. Os maiores valores desse nutriente são encontrados para o LVAar na maioria dos tratamentos, com exceção da dose 100% da necessidade de corretivo quando utilizado o calcário e 25% da necessidade de corretivo quando utilizado o óxido de magnésio que não há diferença o LVAarg e o LVAméd.

Ao analisarmos a aplicação dos corretivos, para os dois Latossolos estudados, em relação ao teor de cálcio, verifica-se, na Tabela 9, que para o LVAarg, há diferença estatística entre os corretivos para todas as doses com exceção da dose 0% da necessidade de corretivo. Observa-se, que em todas as doses o óxido de magnésio proporciona maiores valores de cálcio no solo, não diferindo da escória para a dose

25%, diferindo da escória e calcário para as demais doses. Para o LVAmed, observa-se que há diferença significativa para os corretivos aplicados com exceção da dose 0% da necessidade de corretivo. Para as demais doses, os maiores valores de cálcio são observados para o óxido de magnésio, seguido de calcário e escória que não diferem para as doses 25, 50 e 75% da necessidade de corretivo, sendo que para as doses 100 e 125% o óxido de magnésio não difere do calcário.

Os maiores valores de cálcio no solo proporcionados pela aplicação do óxido de magnésio, observado em todos os tratamentos com este corretivo, está em função da aplicação conjunta com o CaSO_4 utilizado para balancear a relação de cálcio e magnésio do corretivo.

Nesse sentido, Prado e Fernandes, (2001b) justifica o fato do calcário ser mais eficiente no aumento dos teores de cálcio no solo, devido esse ser uma fonte mais eficiente de cálcio e magnésio. O comportamento e a eficiência desses materiais no solo dependem de suas características, como a natureza química dos neutralizantes, o poder de neutralização, a solubilidade, a granulometria, etc.

Tabela 8 – Valores médios de cálcio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAmed) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	2,26a	2,98a	3,24a	3,36a	3,59a	4,59a
	LVAmed	1,12b	2,37b	2,64b	2,67b	3,21a	3,70b
Escória	LVAarg	2,23a	3,55a	3,64a	4,33a	4,56a	5,36a
	LVAmed	1,11b	2,20b	2,22b	2,43b	2,66b	2,71b
Óxido de magnésio	LVAarg	2,32a	3,46ba	4,67a	5,31a	6,10a	6,61a
	LVAmed	1,12b	3,26a	3,54b	3,57b	3,60b	3,74b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 9 – Valores médios de cálcio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd).

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	2,26a	2,98b	3,24b	3,36c	3,59c	4,59c
	Escória	2,23a	3,55a	3,64b	4,33b	4,56b	5,36b
	Óxido de magnésio	2,32a	3,46ab	4,67a	5,31a	6,10a	6,61a
LVAméd	Calcário	1,12a	2,37b	2,64b	2,67b	3,21a	3,70a
	Escória	1,11a	2,20b	2,22b	2,43b	2,66b	2,71b
	Óxido de magnésio	1,12a	3,26a	3,54a	3,57a	3,60a	3,74a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os teores de cálcio no solo apresentam incrementos lineares à medida que se aumentava as doses de todos os corretivos aplicados para o LVAarg (Figura 4a). Para o LVAméd, os modelos de regressão com coeficientes estatisticamente significativos apresentam, quanto aos teores de cálcio no solo, o comportamento linear para o calcário, quadráticos quando utilizado o óxido de magnésio e, para o corretivo escória, não é possível obter-se um coeficiente estatisticamente significativo (Figura 4b).

A maioria dos teores de cálcio no solo encontrados para o LVAarg estão dentro da faixa considerada por Prezotti e outros (2007), de alto valor de cálcio no solo (valores maiores que $4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$), enquanto que todos os valores encontrados para o LVAméd se enquadram dentro da faixa de médio valor de cálcio ($1,5$ a $4,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) com exceção das testemunhas (Figura 4).

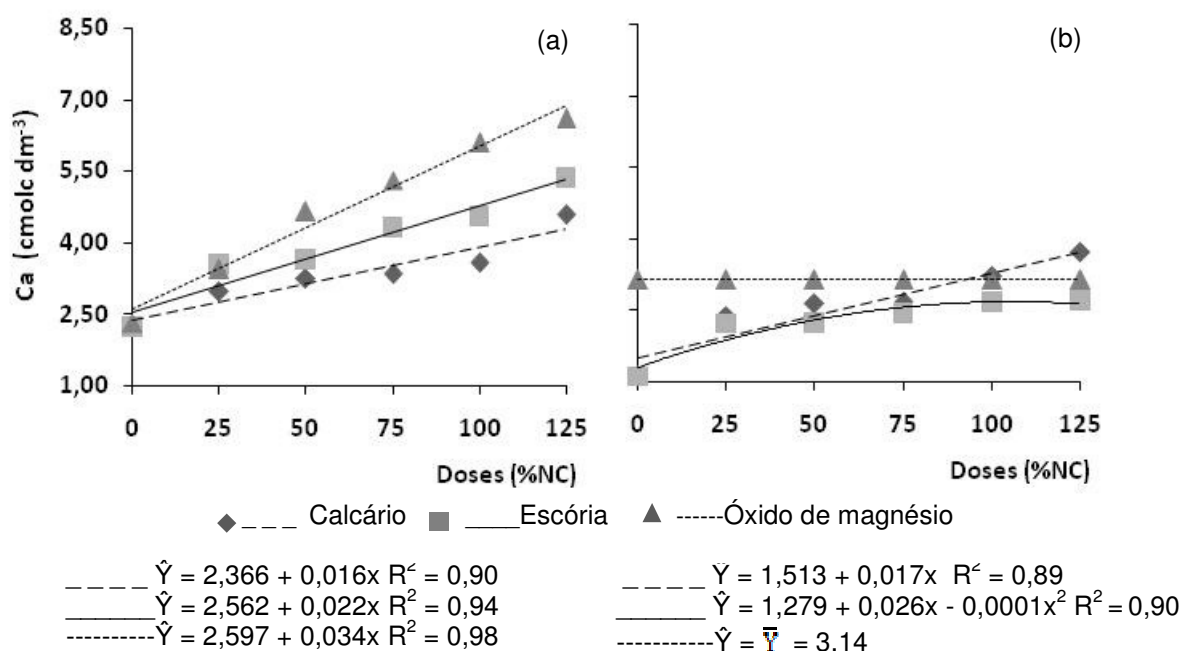


Figura 4 – Valores médios de cálcio (cmolc.dm⁻³) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAmed (b).

Para os valores de magnésio no solo, verifica-se, na Tabela 10, que há diferença estatística entre os Latossolos estudados para todas as doses dos corretivos com exceção da dose 0%. Os maiores valores encontrados são para o LVAarg. Avaliando os corretivos para os dois Latossolos e as 6 doses na Tabela 11, verifica-se diferença significativa entre os corretivos com valores superiores para o óxido de magnésio na maioria dos tratamentos. Já o calcário e a escória apresentam diferença apenas para a dose 100% para o LVAarg, onde a escória supera o calcário.

Estes resultados são similares aos encontrados por Vecchi (1993), onde a aplicação de óxido de magnésio em solos cultivados com Citricultura corrigiu a acidez do solo e forneceu teores adequados de magnésio.

Tabela 10 – Valores médios de magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	0,39a	0,58a	0,86a	0,97a	1,04a	1,18a
	LVAméd	0,32a	0,34b	0,42b	0,47b	0,54b	0,58b
Escória	LVAarg	0,39a	0,54a	0,77a	1,02a	1,15a	1,27a
	LVAméd	0,32a	0,36b	0,39b	0,49b	0,53b	0,57b
Óxido de magnésio	LVAarg	0,40a	1,09a	1,62a	1,83a	2,23a	3,52a
	LVAméd	0,32a	0,58b	0,74b	0,91b	1,11b	1,15b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 11 – Valores médios de magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	0,39a	0,58b	0,86b	0,97b	1,04c	1,18b
	Escória	0,39a	0,54b	0,77b	1,02b	1,15b	1,27b
	Óxido de magnésio	0,40a	1,09a	1,62a	1,83a	2,23a	3,52a
LVAméd	Calcário	0,32a	0,34b	0,42b	0,47a	0,54b	0,58b
	Escória	0,32a	0,36b	0,39b	0,49a	0,53b	0,57b
	Óxido de magnésio	0,32a	0,58a	0,74a	0,91a	1,11a	1,15a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Ao analisar os teores de magnésio no solo, verifica-se que há aumentos lineares deste nutriente quando utilizado todos os corretivos testados em relação às doses aplicadas no LVAarg (Figura 5a) e LVAméd (Figura 5b).

Os teores de magnésio observados no LVAarg encontram-se abaixo da faixa média ($0,5$ a $1,0 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) apenas para as testemunhas. Já para as doses 25, 50 e 75% tanto para o calcário quanto para a escória, os valores de magnésio se encontram na faixa média. E os demais tratamentos se encontram acima da faixa média dos valores de magnésio no solo, onde ocorreu maior liberação de magnésio no solo no período estudado (Figura 5).

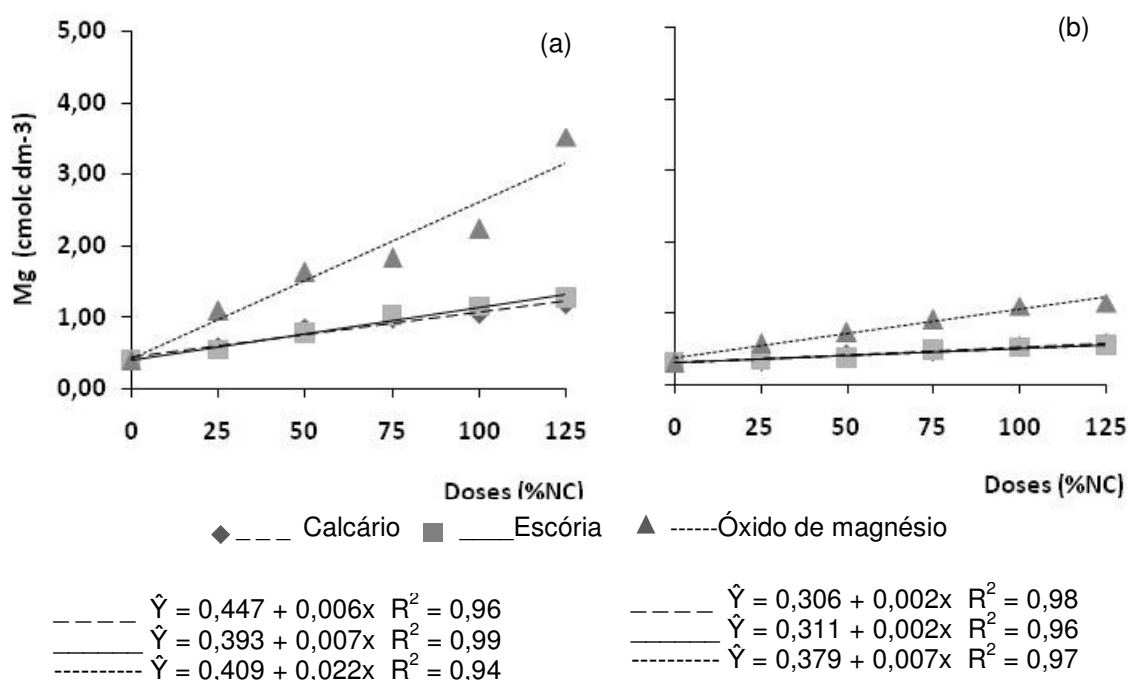


Figura 5 – Valores médios de magnésio (cmol_c.dm⁻³) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b).

4.1.3 Capacidade de trocas de cátions e saturação por bases

Para a capacidade de trocas de cátions (CTC), observa-se, pela análise de variância no Apêndice C, efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

São observadas diferenças significativas para os valores de CTC efetiva (Tabela 12) para os solos estudados, em função dos tratamentos (solo, corretivos e doses). O LVAarg difere estatisticamente do LVAméd, apresentando maiores valores de CTC para todos os corretivos utilizados. Esses resultados eram esperados, em função dos valores de CTC serem inerentes às características de cada solo, relacionadas ao tipo e quantidade de argila, a presença de matéria orgânica, entre outros.

Quanto a aplicação dos corretivos estudados, nota-se, na Tabela 13, que há diferença significativa entre os corretivos no LVAarg, onde o óxido de magnésio é mais eficiente no aumento da CTC efetiva do solo, seguidos da escória e do calcário para as doses 100 e 125% da necessidade de corretivo. Para as doses 25, 50 e 75 % da necessidade de corretivo não se observa diferença significativa para o óxido

de magnésio e escória, tendo ambos proporcionados maiores valores de CTC efetiva no solo. No LVAméd, verifica-se que não há diferença estatística entre os corretivos estudados para as doses 0, 25, 50 e 75% da necessidade de corretivo. No entanto, para a dose 100% o óxido de magnésio não difere do calcário sendo superior à escória e o calcário difere dos demais corretivos aplicados para a dose 125%. A capacidade de trocas de cátions é diretamente afetada pelo pH do solo, pois a CTC expressa a influência do pH atual do solo na retenção de cátions, uma vez que a elevação do pH do solo aumenta a CTC devido à ação das cargas pH-dependentes do solo (MEURER et al., 2004).

Tabela 12 – Valores médios de capacidade de trocas de cátions ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	12,03a	10,73a	11,25a	11,52a	10,66a	11,61a
	LVAméd	6,79b	7,89b	7,93b	8,34b	8,96b	9,21b
Escória	LVAarg	11,81a	12,39a	12,60a	13,19a	11,33a	12,18a
	LVAméd	6,50b	7,66b	7,68b	7,89b	7,98b	7,80b
Óxido de magnésio	LVAarg	12,09a	12,96a	13,14a	12,36a	12,35a	14,62a
	LVAméd	7,02b	8,03b	8,23b	8,78b	8,26ab	8,00b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 13 – Valores médios de capacidade de trocas de cátions ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	12,03a	10,73b	11,25b	11,52b	10,66b	11,61b
	Escória	11,81a	12,39a	12,60a	13,19a	11,33b	12,18b
	Óxido de magnésio	12,09a	12,96a	13,14a	12,36ab	12,35a	14,62a
LVAméd	Calcário	6,79a	7,89a	7,93a	8,34a	8,96a	9,21a
	Escória	6,50a	7,66a	7,68a	7,89a	7,98b	7,80b
	Óxido de magnésio	7,02a	8,03a	8,23a	8,78a	8,26ab	8,00b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Verifica-se, neste trabalho, que os maiores valores de CTC efetiva aparecem nos tratamentos que também apresentam os maiores valores de pH, ou seja, o aumento das cargas negativas dependentes do pH do solo influencia no aumento da CTC.

Em solos intemperizados, onde a maior parte das cargas negativas é dependente do pH, o aumento do pH no solo eleva os níveis de CTC (QUAGGIO, 2000).

Ao estudar os efeitos das doses dos corretivos de acidez para os dois Latossolos para a variável CTC por meio de regressão, pode se afirmar que não é possível ajustar um modelo para todos os corretivos no LVAarg (Figura 6a). No LVAméd é possível registrar um comportamento linear para a CTC do solo quando aplicado o calcário, e quadrático quando utilizado a escória e o óxido de magnésio (Figura 6b).

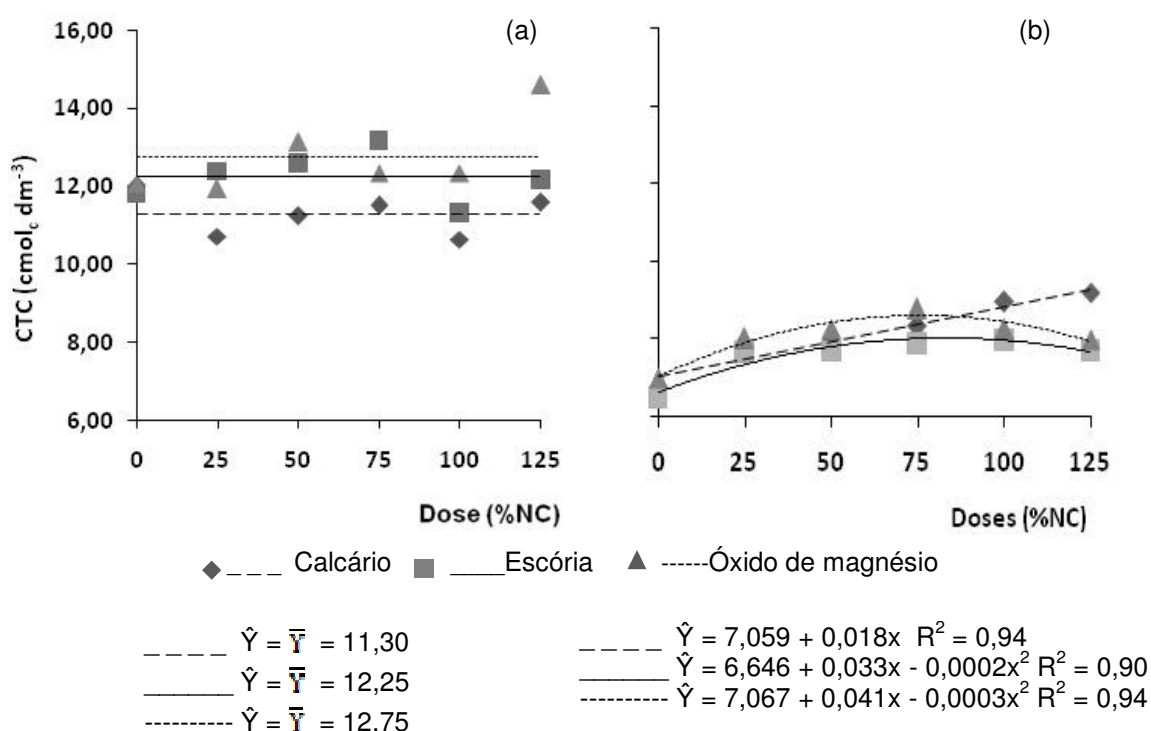


Figura 6 – Valores médios de capacidade de trocas de cátions ($\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b).

Com relação à variável saturação por bases (V) no solo, verifica-se, pela análise de variância no Apêndice C, efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

Analisando (V) nos dois solos estudados na Tabela 14, visualiza-se que há diferença entre os Latossolos somente na dose 50%, sendo superior o LVAarg nos tratamentos com calcário. Quando utilizado a escória, observa-se diferença significativa para as doses 25, 100 e 125% da necessidade de corretivo. No entanto, quando aplicado apenas o óxido de magnésio não há diferença entre os dois

Latossolos para a testemunha, para os demais doses o LVAarg se destaca positivamente quanto aos valores de saturação por bases.

Quando se avalia a (V) em função da aplicação dos corretivos para os dois Latossolos na Tabela 15, observa-se que o óxido de magnésio apresenta maiores médias em todos os tratamentos com exceção da testemunha para o LVAarg. Já a escória e o calcário apenas diferem nas doses 100 e 125%, sendo a escória superior ao calcário.

O óxido de magnésio para o LVAméd apresenta resultados superiores aos demais corretivos, com exceção da dose 0%, seguido dos corretivos calcário e escória para a dose 50%. O corretivo calcário apresenta valores médios de saturação por bases superior à escória para a dose 50%.

Os maiores valores de saturação por base são encontrados nos tratamentos que apresentam maiores teores de cálcio e de magnésio. Esse é um indicador indireto da condição de acidez, apresentando alta correlação com o pH do solo. Resultados semelhantes foram determinados por Prado e Fernandes (2001b), em trabalho onde foi avaliada a resposta da cana-de-açúcar à adição de escória como corretivo da acidez.

Tabela 14 – Valores médios de saturação por bases (%) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	25,35a	37,56a	40,42a	41,54a	47,79a	53,78a
	LVAméd	26,83a	39,94a	44,07b	43,67a	47,96a	51,53a
Escória	LVAarg	25,62a	35,99a	37,85a	44,15a	54,36a	58,44a
	LVAméd	27,95a	39,52b	39,73a	42,56a	44,83b	48,06b
Óxido de magnésio	LVAarg	25,55a	41,88a	52,03a	62,31a	71,90a	73,59a
	LVAméd	27,02a	54,83b	56,18b	56,74b	62,17b	65,45b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 15 – Valores médios de saturação por bases (%) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	25,35a	37,56b	40,42b	41,54b	47,79c	53,78c
	Escória	25,62a	35,99b	37,85b	44,15b	54,36b	58,44b
	Óxido de magnésio	25,55a	41,88a	52,03a	62,31a	71,90a	73,59a
LVAméd	Calcário	26,83a	39,94b	44,07b	43,67b	47,96b	51,53b
	Escória	27,95a	39,52b	39,73c	42,56b	44,83b	48,06b
	Óxido de magnésio	27,02a	54,83a	56,18a	56,74a	62,17a	65,45a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A saturação por bases foi afetada positivamente pela adição dos corretivos. Pelo estudo de regressão, verifica-se um comportamento linear do valor de saturação por bases para o LVAarg quando utilizado o calcário e escória, e quadrático para óxido de magnésio (Figura 7a). No LVAméd, observa-se um comportamento quadrático da saturação por base para todos os corretivos utilizados (Figura 7b).

A recomendação de saturação por bases para o cultivo do cafeeiro é 60% para a cultura não irrigada e 70% para o cultivo irrigado, segundo Prezotti e outros (2007). Verifica-se, na Tabela 15 e Figura 7, que os valores próximo ao ideal são alcançados quando utilizado as maiores doses do óxido de magnésio, conferindo a este corretivo uma vantagem em relação aos demais utilizados neste estudo.

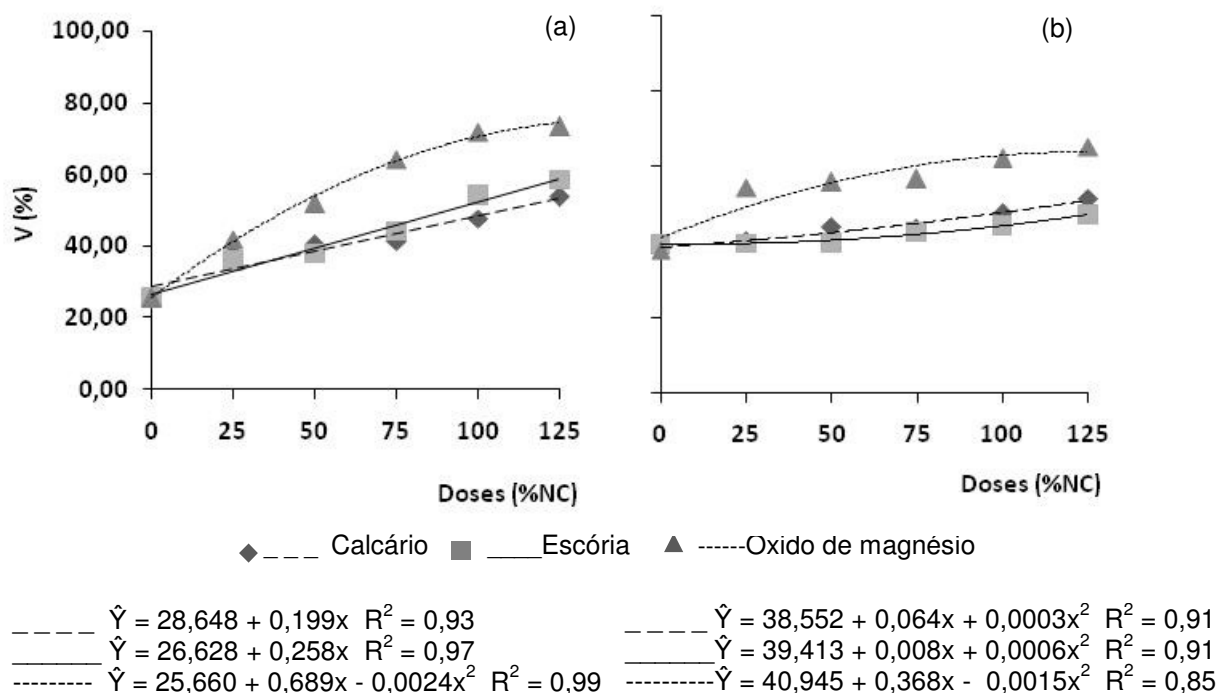


Figura 7 – Valores médios de saturação por bases ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b).

4.1.4 Fósforo e potássio

Para o valor de fósforo no solo, observa-se, pela análise de variância no Apêndice D, efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

Observa-se, na Tabela 16, que para as doses 0, 25 e 125% da necessidade de corretivo quando aplicado o óxido de magnésio. Já para as demais doses dos corretivos estudados, o LVAméd apresenta-se com valores superiores de fósforo no solo em relação ao LVAarg. Esse fato pode ser explicado por Kamprath e Watson (1980), em razão da menor adsorção deste nutriente pelo solo.

Estes resultados eram esperados, uma vez que a resistência dos solos arenosos a mudanças no fator intensidade de fósforo é menor que a dos solos argilosos. Segundo Novais e Smyth (1999) e Rheinheimer e outros (2003), em razão do fator capacidade dos solos argilosos ser tão elevado, só se conseguem pequenas

alterações no teor de fósforo na solução do solo com aplicação de doses muito elevadas desse nutriente.

Quanto aos corretivos utilizados, observa-se, na Tabela 17, que para o LVAarg para as doses 0, 50 e 100% da necessidade de corretivo não há diferença significativa entre os corretivos aplicados. Para as doses 25, 75 e 125% da necessidade de corretivo, observa-se diferença significativa entre o óxido de magnésio e os demais corretivos. Para o LVAméd, quando usou-se o óxido de magnésio, obteve-se menor valor de fósforo, comparados aos corretivos calcário e escória para todos as doses, com exceção da dose 0%.

Segundo Prado e Fernandes (2001a), o aumento das doses de fósforo com a utilização da escória pode ser explicado pelo aumento do pH do solo e pela competição do ânion silicato presente na escória com o fósforo, pelos mesmos sítios de adsorção de fosfato no solo, implicando a liberação do fósforo para a solução do solo.

Tabela 16 – Valores médios de fósforo ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	17,19a	15,07a	15,38a	15,54a	16,65a	16,80a
	LVAméd	31,58a	30,51b	29,03b	30,20b	30,11b	31,32b
Escória	LVAarg	17,39a	16,44a	15,49a	13,90a	17,31a	15,52a
	LVAméd	30,99a	32,42b	31,25b	31,23b	31,89b	31,89b
Óxido de magnésio	LVAarg	17,11a	25,37a	15,30a	20,79a	18,43a	21,40a
	LVAméd	30,10a	23,27a	24,43b	25,41b	21,06b	22,89a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 17 – Valores médios de fósforo (mg.dm^{-3}) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	17,19a	15,07b	15,38a	15,54b	16,65a	16,80b
	Escória	17,39a	16,44b	15,49a	13,90b	17,31a	15,52b
	Óxido de magnésio	17,11a	25,37a	15,30a	20,79a	18,43a	21,40a
LVAméd	Calcário	31,58a	30,51a	29,03a	30,20a	30,11a	31,32a
	Escória	30,99a	32,42a	31,25a	31,23a	31,89a	31,89a
	Óxido de magnésio	30,10a	23,27b	24,43b	25,41b	21,06b	22,89b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Os valores médios de fósforo encontrados para o LVAarg e o LVAméd se enquadram na faixa de baixo teor de fósforo no solo. Segundo Prezotti e outros (2007), o teor médio varia de 20 a 40 mg.dm^{-3} para cultura perene e solo argiloso e para solo de textura média de 40 a 60 mg.dm^{-3} . As quantidades de nutrientes fornecidos às plantas variam quando estas são conduzidas em campo ou em vasos. O baixo teor de fósforo encontrado para os dois solos pode ser explicado pelo método de adubação utilizada, que foi recomendada para cafeeiros conduzidos em campo.

Verifica-se, na Figura 8a, para o LVAarg, que não é possível ajustar um modelo de regressão para todos os corretivos estudados. Para o LVAméd, não é possível ajustar um modelo de regressão quando utilizado o calcário e a escória, sendo possível ajustar uma equação quadrática quando utilizado o óxido de magnésio (Figura 8b).

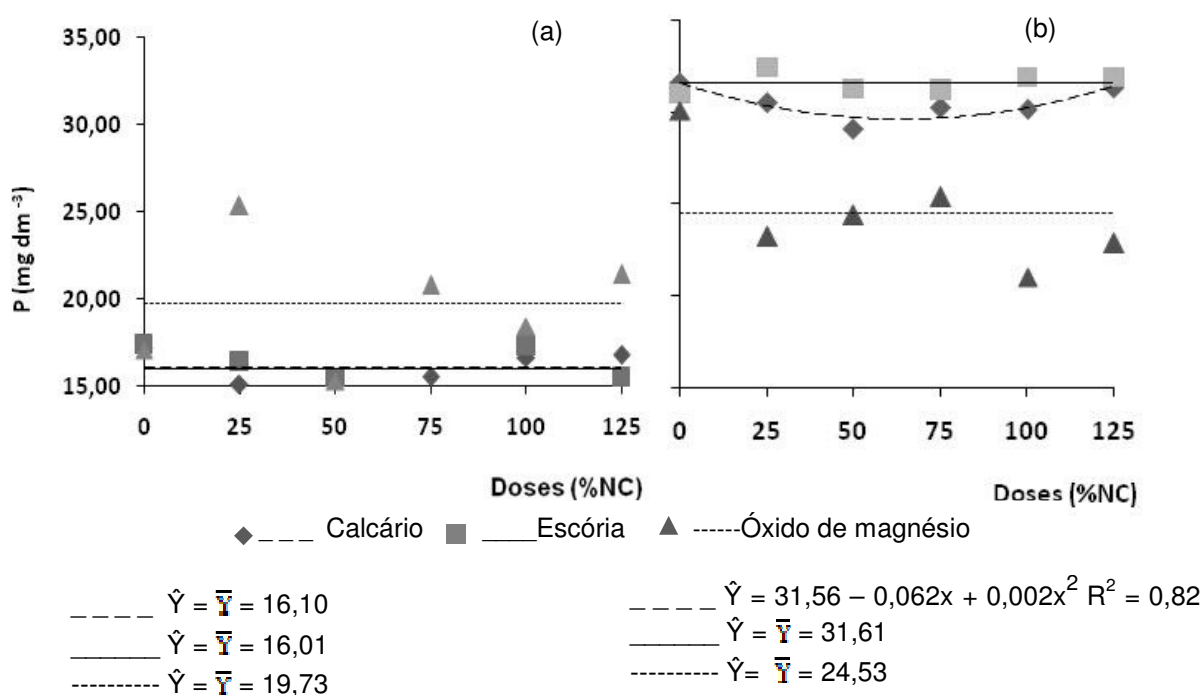


Figura 8 – Valores médios de fósforo (mg.dm⁻³) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b).

Para o valor de potássio no solo, observa-se, pela análise de variância no Apêndice D, efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

De acordo com os teores de potássio para os dois Latossolos, observa-se, na Tabela 18, que não há diferença entre o LVAarg e LVAméd quando utilizado o calcário e escória. Para as doses 50, 100 e 125% quando utilizado o óxido de magnésio e para a dose 25%

O LVAarg se destaca positivamente quando utilizado o óxido de magnésio em relação ao LVAméd para as doses 50, 100 e 125% da necessidade de corretivo. E para a dose 25% do óxido de magnésio, o LVAméd apresenta maior valor de potássio no solo que o LVAarg. Mas as demais doses com o calcário, escória e óxido de magnésio não há diferença significativa entre os Latossolos.

Quanto aos corretivos analisados, observa-se, na Tabela 19, que para o LVAarg quando utilizou-se o óxido de magnésio, obteve-se maior valor de potássio comparados aos corretivos calcário e escória para a dose 125% da necessidade de corretivo. Para as doses 0, 25 e 100%, verifica-se que não há diferença significativa

entre os corretivos estudados. Para a dose 50% da necessidade de corretivo, o óxido de magnésio apresenta valores de potássio no solo superior a escória, no entanto a escória não difere do calcário. Para a dose 75%, o maior valor de potássio no solo foi obtido com a utilização do óxido de magnésio que não difere da escória e a escória não difere do calcário. A diferença dos teores de potássio no solo com a utilização dos corretivos, pode estar associada à utilização de duas fontes diferentes desse nutriente (KCl e KH_2PO_4), para suprir a necessidade de potássio e fósforo no solo no início do experimento e com o objetivo de igualar a relação cálcio e magnésio entre os corretivos em 3:1. O KCl utilizado para o solo que foi corrigido com óxido de magnésio é mais solúvel que o KH_2PO_4 utilizado quando utilizado a escória e o calcário.

Na Tabela 19, verifica-se que há diferença significativa entre os corretivos apenas para a dose 100% para o LVAméd, onde o tratamento com o calcário se apresenta superior aos demais valores de potássio no solo.

Os valores de potássio encontrados para o LVAarg e o LVAméd estão acima da faixa recomendada para o cafeeiro no Espírito Santo, com exceção das testemunhas. Segundo Prezotti e outros (2007), a faixa ótima de potássio no solo varia de 60 a 150 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

Tabela 18 – Valores médios de potássio ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) do solo em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	148,40a	183,75a	175,30a	179,48a	184,18a	184,52a
	LVAméd	148,30a	172,00a	16,67a	195,07a	212,27a	171,73a
Escória	LVAarg	155,61a	148,27a	138,65a	184,63a	179,53a	188,65a
	LVAméd	148,30a	181,50a	172,73a	169,33a	152,40a	167,27a
Óxido de magnésio	LVAarg	144,75a	174,53b	213,42a	229,52a	218,85a	244,44a
	LVAméd	176,24a	215,46a	141,20b	193,47a	164,27b	134,80b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 19 – Valores médios de potássio ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) do solo em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	148,40a	183,75a	175,30ab	179,48b	184,18a	184,52b
	Escória	155,61a	148,27a	138,65b	184,63ab	179,53a	188,65b
	Óxido de magnésio	144,75a	174,53a	213,42a	229,52a	218,85a	244,44a
LVAméd	Calcário	148,30a	172,00a	16,67a	195,07a	212,27a	171,73a
	Escória	148,30a	181,50a	172,73a	169,33a	152,40b	167,27a
	Óxido de magnésio	176,24a	215,46a	141,20a	193,47a	164,27b	134,80a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Verifica-se, na Figura 9a, para o LVAarg, que não é possível ajustar um modelo de regressão para os corretivos calcário e escória. Entretanto, é possível ajustar um modelo linear para o óxido de magnésio. Através do referido modelo ajustado, verifica-se um aumento proporcional dos teores de potássio no solo em função do incremento das doses desse corretivo, até a dose 125% da necessidade de corretivo. Para o LVAméd, não é possível ajustar modelo de regressão para nenhum corretivo aplicado (Figura 9b).

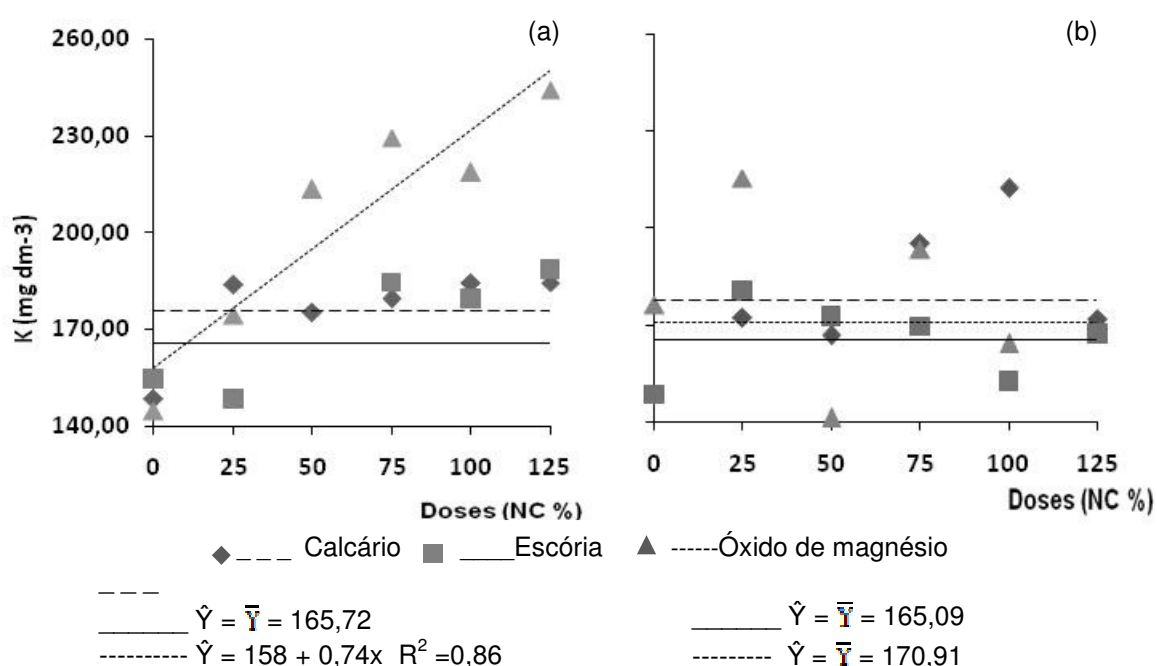


Figura 9 – Valores médios de potássio ($\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) do solo para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAméd (b).

4.2 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA, DO SISTEMA RADICULAR E TOTAL DO *Coffea arabica* L.

Para a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas de *Coffea arabica* L., observa-se, pela análise de variância no Apêndice E, efeito significativo ($p \leq 0,05$) da interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

Estudando a produção de matéria seca da parte aérea para os dois Latossolos em relação aos corretivos, observa-se que há efeito significativo entre os Latossolos, o LVAméd se mostra superior quando da utilização de todas as doses dos corretivos aplicados (Tabela 20).

Em relação aos corretivos para cada solo, verifica-se efeito significativo, com resultados superiores para a produção de MSPA, para os dois Latossolos avaliados quando utilizado as doses 25, 50, 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo, para o calcário e a escória (Tabela 21). O fato do óxido de magnésio ter influenciado negativamente na produção de matéria seca pode estar relacionada às diferentes fontes de potássio que foi acrescentado na adubação, utilizado na forma de KCl e KH_2PO_4 para suprir a necessidade desse nutriente para as plantas e balancear a relação cálcio e magnésio do corretivo óxido de magnésio.

Resultados semelhantes com a utilização da escória e calcário foram encontrados na cultura do milho (PIAU, 1995) e cana-de-açúcar (PRADO; FERNANDES, 2001b) quando obtiveram produções semelhantes entre escórias e calcários. Quando avaliaram comparativamente o efeito da escória de siderurgia e do calcário em doses equivalentes de CaCO_3 em cana-de-açúcar, Prado, Fernandes e Natale (2001) observaram que ambos corretivos foram semelhantes na produção de MSPA.

Com uma maior produção de matéria seca da parte aérea, a planta poderá ter uma maior taxa fotossintética. Segundo Rena e Maestri (1985), a planta terá maior capacidade de armazenar fotoassimilados em sua copa, o que posteriormente poderá minimizar efeitos de depauperamento.

Tabela 20 – Valores médios de produção de matéria seca da parte aérea (g.vaso^{-1}) em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	54,10b	52,08b	67,95b	69,37b	70,92b	79,23b
	LVAméd	80,16a	86,93a	87,75a	88,40a	91,06a	96,38a
Escória	LVAarg	55,52b	58,49b	62,45b	64,69b	72,80b	75,73b
	LVAméd	77,90a	82,75a	88,16a	88,91a	92,50a	94,61a
Óxido de magnésio	LVAarg	54,17b	50,79b	45,41b	45,39b	46,38b	37,92b
	LVAméd	78,88a	73,15a	72,24a	75,53a	77,37a	57,05a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 21 – Valores médios de produção de matéria seca da parte aérea (g.vaso^{-1}) em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	54,10a	52,08b	67,95a	69,37a	70,92a	79,23a
	Escória	55,52a	58,49a	62,45b	64,69b	72,80a	75,73a
	Óxido de magnésio	54,17a	50,79b	45,41c	45,39c	46,38b	37,92b
LVAméd	Calcário	80,16a	86,93a	87,75a	88,40a	91,06a	96,38a
	Escória	77,90a	82,75b	88,16a	88,91a	92,50a	94,61a
	Óxido de magnésio	78,88a	73,15c	72,24b	75,53b	77,37b	57,05b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A produção de MSPA no LVAarg apresenta um comportamento linear com o uso do calcário e escória, sendo proporcional ao aumento das doses desses corretivos até a dose 125% da necessidade de corretivo. Enquanto que, com o incremento das doses de óxido de magnésio, verifica-se diminuição da produção da MSPA com um ajuste linear (Figura 10a). No LVAméd, verifica-se aumento linear da MSPA quando utilizado os corretivos calcário e escória até a dose 125% da necessidade de corretivo, não sendo possível ajustar um modelo de regressão para o óxido de magnésio (Figura 10b).

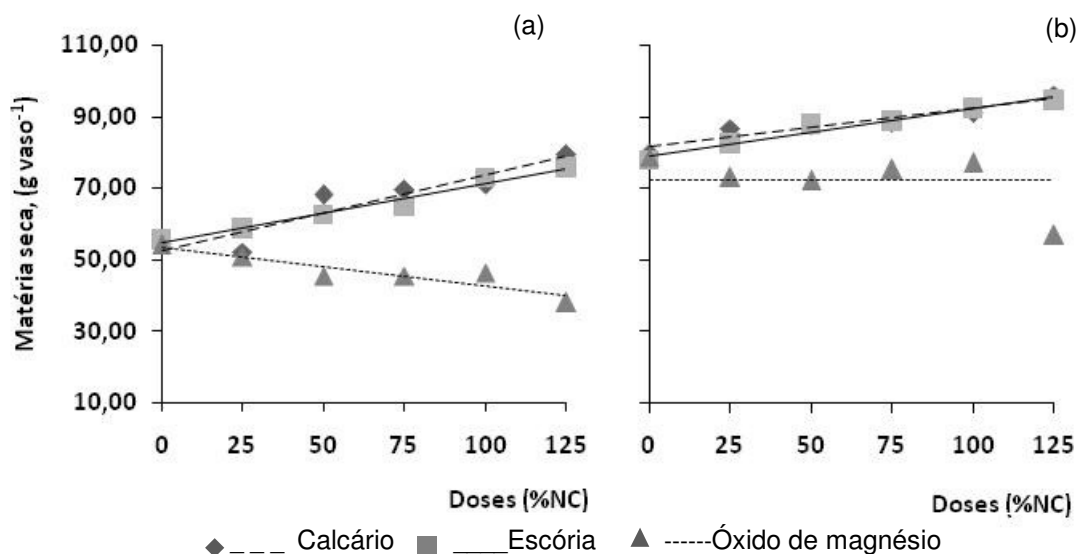


Figura 10 – Valores médios de produção de matéria seca da parte aérea (g vaso⁻¹) para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg e o LVAméd.

O aumento da produção MSPA quando aplicado as maiores doses dos corretivos calcário e escória pode ser justificado pela melhoria dos atributos químicos do solo como diminuição da acidez, elevação de cálcio, magnésio e CTC. Tais melhorias favorecem o crescimento radicular, permitindo assim a exploração de maior volume do solo para absorção de água e nutrientes pelas plantas, visto haver uma estreita dependência entre o desenvolvimento das raízes e a formação da parte aérea. Segundo Kochian (1995), quando os solos se tornam mais ácidos, formas fitotóxicas de alumínio, principalmente Al^{3+} , estão disponíveis na solução do solo em concentrações que podem afetar o crescimento da raiz, e conseqüentemente da planta, por influenciarem diretamente o processo de divisão celular.

Em estudo realizado em cana-de-açúcar em vasos, Oliveira (2009), verificou que a aplicação de doses crescentes dos corretivos da acidez do solo (calcário e escória) favoreceu um incremento na produção de matéria seca da parte aérea, folhas, caule e raízes. Carvalho-Pupatto e outros (2003), estudando o efeito da escória de alto forno na cultura do arroz, verificaram resposta quadrática à aplicação de escória, em relação à matéria seca de parte aérea.

Com relação à produção de matéria seca radicular (MSR) das plantas de *Coffea arabica* L., observa-se, pela análise de variância no Apêndice E, efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

Quando se avalia a produção de MSR para os dois Latossolos em cada corretivo, nota-se, pela Tabela 22, que para as doses 50 e 100% o LVAméd difere estatisticamente do LVAarg, apresentando valores superiores com a utilização do calcário. Já com a utilização da escória nas doses 25 e 75%, o LVAarg apresenta resultados superiores ao LVAméd, o inverso ocorre para a dose 50%. Observa-se também diferença significativa entre os Latossolos para as doses 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo quando aplicado o óxido de magnésio, sendo encontrados com maiores valores no LVAméd.

Para o LVAarg quando avaliado os três corretivos, verifica-se que a escória se apresenta como mais eficiente no aumento da produção de MSR para todas as doses estudadas, em relação ao calcário e óxido de magnésio, com exceção da dose 0%, e o calcário é superior ao óxido de magnésio para a dose 125%. No entanto, para o LVAméd, observa-se, que não há diferença significativa entre os corretivos aplicados para as doses 0, 25 e 50% da necessidade de corretivo. Para as doses 75 e 100%, nota-se que a escória difere dos demais corretivos, proporcionando maiores valores de MSR, enquanto que para a dose 125% o óxido de magnésio difere dos demais corretivos (Tabela 23).

Tabela 22 – Valores médios de produção de matéria seca radicular (g.vaso^{-1}) em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	15,85a	16,75a	17,70b	17,98a	18,18b	22,62a
	LVAméd	16,21a	17,23a	19,76a	19,04a	20,41a	24,11a
Escória	LVAarg	15,78a	20,73a	22,58b	23,66a	23,71a	26,18a
	LVAméd	16,55a	18,40b	20,23a	21,62b	23,75a	24,63a
Óxido de magnésio	LVAarg	16,12a	16,39a	18,16a	16,40b	16,67b	9,36b
	LVAméd	16,66a	16,96a	18,40a	18,61a	20,60a	16,32a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 23 – Valores médios de produção de matéria seca radicular (g.vaso^{-1}) em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	15,85a	16,75b	17,70b	17,98b	18,18b	22,62b
	Escória	15,78a	20,73a	22,58a	23,66a	23,71a	26,18a
	Óxido de magnésio	16,12a	16,39b	18,16b	16,40b	16,67b	9,36c
LVAméd	Calcário	16,21a	17,23a	19,76a	19,04b	20,41b	24,11a
	Escória	16,55a	18,40a	20,23a	21,62a	23,75a	24,63a
	Óxido de magnésio	16,66a	16,96a	18,40a	18,61b	20,60b	16,32b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Embora o padrão de enraizamento esteja sob controle genético, o crescimento das raízes pode ser modificado por fatores químicos e físicos do solo (TAYLOR; ARKIN, 1981). A presença do sistema radicular profundo, principalmente em subsuperfície, permite a exploração de maior volume do solo para absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Segundo Ramos e outros (1982), um sistema radicular mais desenvolvido deve ser mais eficiente na absorção de nutrientes e de água do solo e, assim, influenciar a produtividade. Carvalho-Pupatto et. al., (2003) observaram maior crescimento radicular e produção na cultura do arroz, quando aplicado escória de alto-forno, em relação à testemunha.

Na Figura 11a, observa-se um aumento linear da produção de MSR com o incremento das doses de calcário até a maior dose desse corretivo para o LVAarg nos modelos ajustados. Quando avaliada a escória e o óxido de magnésio verifica-se um comportamento quadrático. Para o óxido de magnésio é observado um incremento da produção de MSR até a dose 58,5% da necessidade de corretivo, sendo que posteriormente há um declínio com o aumento das doses até a dose máxima de 125% da necessidade de corretivo.

Para o LVAméd, observa-se aumento linear da matéria seca radicular quando utilizados os corretivos calcário e escória até a dose 125% da necessidade de corretivo, não sendo possível ajustar um modelo para o óxido de magnésio (Figura 11b).

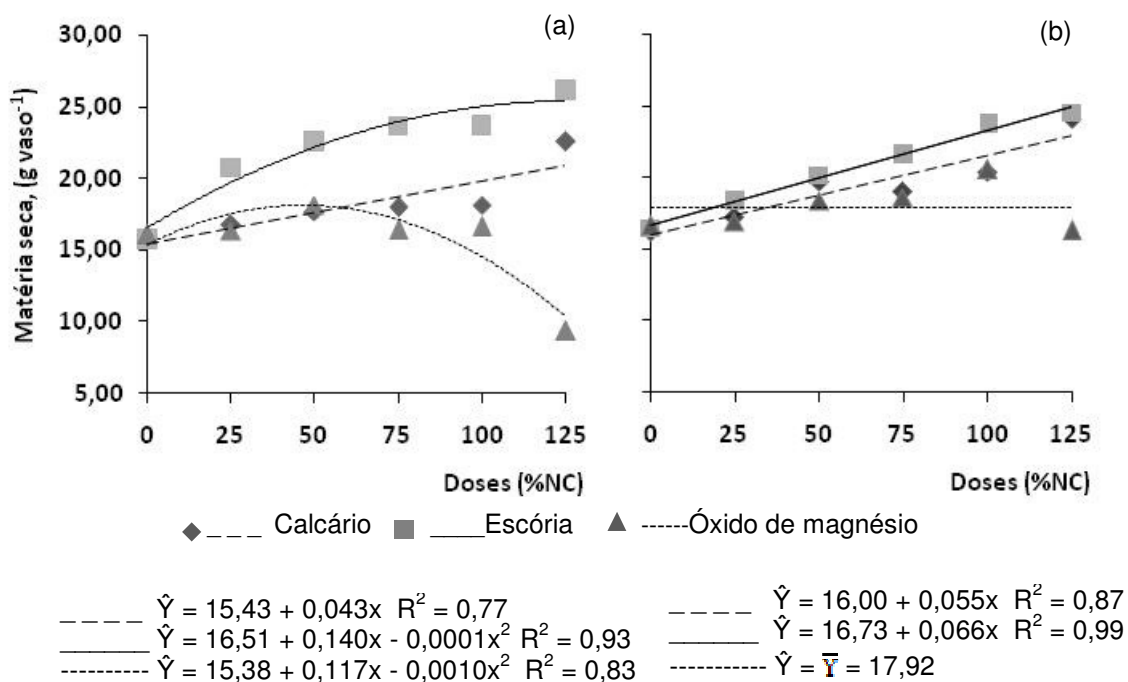


Figura 11 – Valores médios de produção de matéria seca radicular (g vaso⁻¹) para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVArg (a) e o LVAméd (b).

As pesquisas têm demonstrado que o desenvolvimento do sistema radicular pode ser severamente limitado em solos ácidos. A consequência da presença de alumínio em nível tóxico no subsolo é o mau desenvolvimento das raízes, principalmente em camadas mais profundas, dificultando a absorção de água e de nutrientes. Uma pequena quantidade de alumínio é translocada para a parte aérea, se acumulando preferencialmente no sistema radicular, onde acarreta a inibição do crescimento radicular das plantas. Tal evento ocorre principalmente devido aos distúrbios na divisão celular e à desorganização da membrana plasmática na região apical da raiz (MARTINEZ; MONNERAT, 1991; CLARKSON, 1966; TAYLOR, 1988).

Pavan e Bingham (1982) observaram que os primeiros sinais de toxidez em cafeeiros cultivados em solução nutritiva, em presença alumínio, foram

caracterizados por retardamento no crescimento radicular, aumento no diâmetro de raízes e diminuição no número de raízes laterais por unidade de raiz principal.

Neste sentido, a melhoria das condições químicas do solo, como aumentos dos teores de cálcio e magnésio e diminuição de acidez, obtida com a aplicação das doses crescentes dos corretivos calcário e escória, pode ter contribuído para uma maior produção de MSR, com exceção do óxido de magnésio.

Tanto o cálcio como o magnésio participam do crescimento radicular por meio de pectatos de cálcio e magnésio que compõem a parede celular (Malavolta, 1980). Rosolem e outros (1995) observaram aumentos no crescimento radicular de soja, mesmo quando o solo apresentava originalmente $2,0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio.

Com relação à produção de matéria seca total (MST), verifica-se, pela análise de variância no Apêndice E, que há efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

Verifica-se, na Tabela 24, para a produção de MST, que os Latossolos diferem estatisticamente quando aplicado as doses 25, 50, 75, 100 e 125% da necessidade de corretivo, onde o LVAméd se mostra superior ao LVAar para todos os corretivos estudados.

Analisando a MST em função dos corretivos e dose, verifica-se, na Tabela 25, que a escória apresenta-se com maior eficiência no incremento de MST para as doses 25 e 100% para o LVAarg, seguida dos corretivos calcário e óxido de magnésio. Para as demais as doses 50, 75 e 125% da necessidade de corretivo, a escória não difere do calcário, seguido do óxido de magnésio. Para o LVAméd, verifica-se que não há diferença significativa quando utilizado todos os corretivos para a dose 0%. Para a dose 125%, observa-se diferença estatística entre os corretivos aplicados, com maiores valores de MST quando utilizado a escória, seguidos do calcário e óxido de magnésio. Sendo que para as demais doses, observa-se que não há diferença estatística entre o calcário e a escória, estes proporcionando maiores valores de MST em relação ao óxido de magnésio.

Tabela 24 – Valores médios de produção de matéria seca total (g.vaso⁻¹) em função dos solos (LVAarg e LVAméd) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	70,00b	69,00b	85,66b	87,33b	89,00b	101,67b
	LVAméd	96,67a	104,00a	107,67a	107,33a	111,33a	120,33a
Escória	LVAarg	71,33b	79,33b	85,00b	88,33b	96,67b	102,00b
	LVAméd	94,33a	101,33a	108,33a	110,67a	116,33a	119,33a
Óxido de magnésio	LVAarg	70,33b	69,00b	63,67b	61,67b	63,33b	47,33b
	LVAméd	95,67a	90,00a	90,33a	94,33a	98,00a	73,33a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 25 – Valores médios de produção de matéria seca total (g.vaso⁻¹) em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	70,00a	69,00b	85,66a	87,33a	89,00b	101,67a
	Escória	71,33a	79,33a	85,00a	88,33a	96,67a	102,00a
	Óxido de magnésio	70,33a	69,00b	63,67b	61,67b	63,33c	47,33b
LVAméd	Calcário	96,67a	104,00a	107,67a	107,33a	111,33b	120,33a
	Escória	94,33a	101,33a	108,33a	110,67a	116,33a	119,33a
	Óxido de magnésio	95,67a	90,00b	90,33b	94,33b	98,00c	73,33b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Verifica-se um comportamento linear da produção de MST com o incremento de doses de corretivos até a dose 125 % da necessidade de corretivo para o calcário e escória, demonstrando que o cafeeiro respondeu bem à melhoria das condições químicas do solo, propiciadas por esses corretivos. No entanto, quando utilizado o óxido de magnésio, observa-se um decréscimo na produção de MST, ajustando-se um modelo linear à medida que se aumentava as doses deste corretivo até a dose máxima utilizada, mesmo este tendo corrigido os atributos de acidez dos solos (Figura 12a).

Quanto ao LVAméd, observa-se que há aumentos lineares de MST quando utilizado o calcário, e um comportamento quadrático quando utilizado a escória, até a dose

125% da necessidade de corretivo. Para o óxido de magnésio não é possível a obtenção de modelos de regressão com coeficientes significativos (Figura 12b).

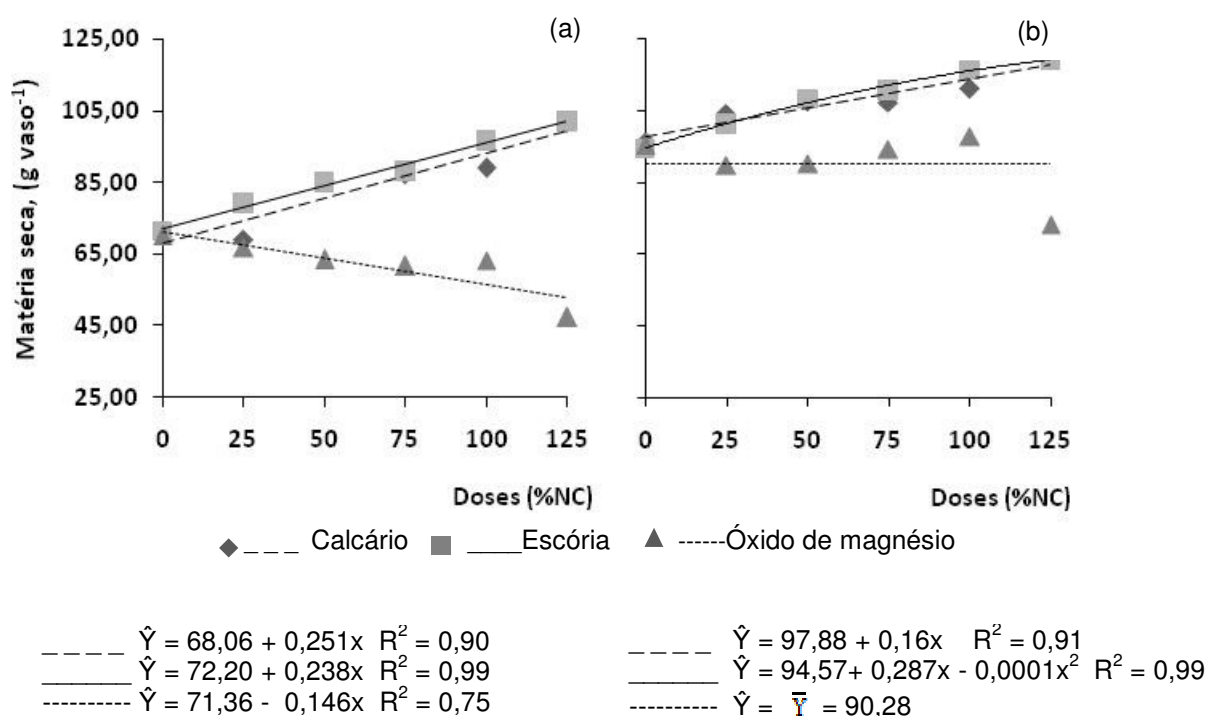


Figura 12 – Valores médios de produção de matéria seca total (g vaso⁻¹) para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e o LVAmed (b).

4.3 TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NA FOLHA

4.3.1 Teor de cálcio na folha

Para o teor de cálcio na folha do *Coffea arabica* L., verifica-se, pelo Apêndice F, efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação dupla entre os fatores corretivos e doses, e para o fator independente solos.

Estudando a interação dupla entre os fatores corretivos e doses para o teor de cálcio na folha, observa-se que não há diferença significativa entre os corretivos testados para as doses 0, 25, 50, 75 e 100% da necessidade de corretivo (Tabela 26). Para a dose 125% o calcário e a escória não diferem estatisticamente, assim como, a escória e o óxido de magnésio.

Ao estudar o fator independente solos, verifica-se que há diferença significativa entre o LVAarg e o LVAméd, sendo que o LVAarg se destaca positivamente com maiores teores de cálcio na folha (Tabela 27).

Tabela 26 – Valores médios de teores de cálcio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) da folha em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para os corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Doses (%)					
	0	25	50	75	100	125
Calcário	5,44 a	6,18 a	5,74 a	6,65 a	6,82 a	7,72 a
Escória	5,44 a	5,44 a	5,84 a	6,36 a	6,69 a	7,05 ab
Óxido de magnésio	5,31 a	6,18 a	6,37a	6,19 a	6,53a	6,36 b

*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula nas linhas e minúsculas nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 27 – Valores médios de teores de cálcio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) da folha em função do tipo de solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Cálcio (g.kg^{-1})
LVAarg	6,34 a
LVAméd	6,09 b

*Médias seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Segundo Prezotti e outros (2007), o teor adequado de cálcio na folha do *Coffea arabica* L. em produção varia de 10 a 15 g.kg^{-1} . No entanto, Clemente e outros (2008) recomendam como faixa ideal os teores entre 12,70 a 14,11 g.kg^{-1} de cálcio para plantas de café no primeiro ano após o plantio (Figura 13).

Observa-se que, para todos os corretivos utilizados, os teores de cálcio na folha se encontram abaixo da faixa adequada para mudas dessa cultura, apesar dos corretivos utilizados terem elevado os teores de cálcio no solo. Tal fato pode ser explicado pela maior demanda de cálcio pelo cafeeiro com o aumento da idade, como constatado por Catani e Moraes (1958) e Catani e outros (1965). E pode estar associado também ao desequilíbrio de potássio causado pelas diferentes fontes utilizadas desse nutriente. Viana e outros (1986) observaram que o aumento nas doses de potássio causou efeito depressivo nos teores foliares de cálcio, magnésio e boro.

Pela Figura 13, verifica-se que, para o calcário e a escória, os melhores ajustes das regressões ocorrem com o modelo linear, havendo um aumento dos teores de cálcio na folha com a elevação das doses desses corretivos até a dose 125 % da necessidade de corretivo. Com o óxido e magnésio não é possível ajustar modelo de regressão.

O incremento do teor de cálcio na folha do cafeeiro foi constatado também por Silveira (1995), quando estudou os teores de nutrientes no cafeeiro em resposta a calcário. Os aumentos dos teores desse elemento, quando utilizado a escória, são similares aos resultados obtidos por Fortes (2006) que, trabalhando com silicato de cálcio e magnésio como corretivo de solo, observou aumento linear dos teores de cálcio na matéria seca de gramíneas forrageiras em função da saturação por bases.

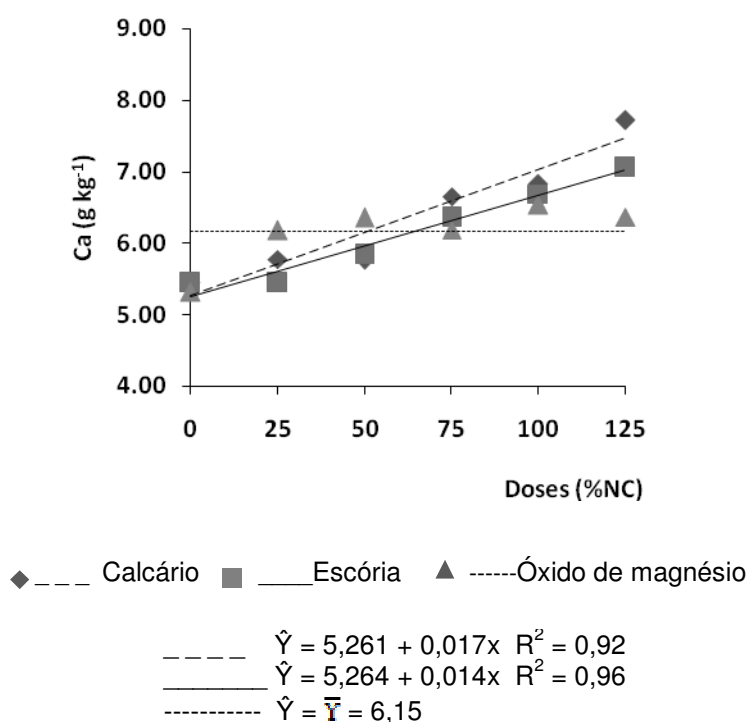


Figura 13 - Valores médios de teores de cálcio ($\text{cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$) da folha para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg e o LVAméd.

4.3.2 Teor de magnésio na folha

Para o teor de magnésio na folha do *Coffea arabica* L., verifica-se, pela análise de variância no Apêndice F, efeito significativo ($p \leq 0,05$) para a interação tripla entre os fatores solos, corretivos e doses.

Fazendo uma comparação entre os dois Latossolos, verifica-se, na Tabela 28, diferença significativa entre ambos, o LVAarg se destaca positivamente com maiores valores de magnésio na folha.

A análise dos corretivos para o LVAarg mostra que há diferença significativa entre o óxido de magnésio e os demais corretivos para todas as doses utilizadas. Para o LVAmed, observa-se que não há diferença estatística entre os corretivos utilizados para as doses 75 e 125% da necessidade de corretivo. Verifica-se que não há diferença significativa entre o calcário e o óxido de magnésio e entre o calcário e escória para as doses 25 e 100%. Para a dose 50 %, o óxido de magnésio difere dos demais corretivos, propiciando o maior valor de magnésio foliar (Tabela 29).

Considerando que a solubilidade em água do silicato de cálcio e magnésio presente na escória é maior que a do carbonato de cálcio presente no calcário, e que a escória apresenta maior teor de óxido de magnésio, esperava-se uma maior quantidade de magnésio no solo favorecendo assim, maior absorção deste nutriente pelo cafeeiro, fato não observado neste trabalho. O maior teor de magnésio na folha do cafeeiro deve-se ao fato da maior concentração de óxido de magnésio no corretivo óxido de magnésio (Tabela 2).

Tabela 28 – Valores médios de teores de magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) da folha em função dos solos (LVAarg e LVAméd) em função das doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para os corretivos (calcário, escória e óxido de magnésio)

Corretivos	Solos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
Calcário	LVAarg	2,60a	2,77a	3,13a	3,16a	3,27a	3,83a
	LVAméd	2,12b	2,02b	2,13b	2,41b	2,42b	2,49b
Escória	LVAarg	2,60a	3,12a	3,07a	3,05a	3,71a	3,76a
	LVAméd	2,03b	1,85b	1,98b	2,29b	2,16b	2,32b
Óxido de magnésio	LVAarg	2,60a	3,82a	4,08a	4,60a	4,97a	5,99a
	LVAméd	2,10a	2,65b	2,87b	2,56b	2,99b	2,75b

*Médias seguidas de mesma letra, para cada corretivo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Tabela 29 – Valores médios de teores de magnésio ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$) da folha em função do tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) e doses (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para cada solo (LVAarg e LVAméd)

Solos	Corretivos	Doses (%)					
		0	25	50	75	100	125
LVAarg	Calcário	2,60a	2,77b	3,13b	3,16b	3,27b	3,83b
	Escória	2,60a	3,12b	3,07b	3,05b	3,71b	3,76b
	Óxido de magnésio	2,60a	3,82a	4,08a	4,60a	4,97a	5,99a
LVAméd	Calcário	2,12a	2,02ab	2,13b	2,41a	2,42ab	2,49a
	Escória	2,03a	1,85b	1,98b	2,29a	2,16b	2,32a
	Óxido de magnésio	2,10a	2,65a	2,87a	2,56a	2,99a	2,75a

*Médias seguidas de mesma letra, para cada solo e doses, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Segundo Prezotti e outros (2007), o teor adequado de magnésio na folha do *Coffea arabica* L. varia de 4,0 a 4,5 g.kg^{-1} . No entanto, Clemente e outros (2008) recomendam como faixa ideal os teores entre 8,26 a 8,97 g.kg^{-1} de magnésio para plantas de café no primeiro ano após o plantio. Observa-se que os teores de magnésio se encontram abaixo da faixa adequada para mudas desta cultura para todos os corretivos utilizados (Figura 14).

Observa-se que os teores de magnésio na folha para o LVAarg apresentam um comportamento linear para todos os corretivos avaliados (Figura 14a). Quando estudado o LVAméd, não foi possível para nenhum dos corretivos avaliados, o ajuste de modelos de regressão em função teor de magnésio na folha (Figura 14b).

O resultado encontrado quando utilizado o calcário foi similar ao que Guimarães e Mendes (1997) encontraram quando estudaram os teores de nutrientes na folha do cafeeiro em resposta ao calcário em vários anos da cultura. Estes resultados mostram que foram obtidos aumentos significativos nos teores de magnésio.

Resultados semelhantes, também foram encontrados por Prado, Fernandes e Natale (2003), avaliando o uso de calcário e escórias nos teores de magnésio na cultura da cana-de-açúcar. Foi observado que as concentrações de magnésio foram lineares, aumentando com a elevação das doses das escórias. Não foram encontrados estudos sobre o comportamento dos teores foliares de magnésio para aplicação de óxido de magnésio, como corretivo de acidez do solo.

A reação benéfica dos corretivos de acidez no solo influenciando a composição química das plantas já é bastante reconhecida, não só devido à sua própria composição química possibilitando elevar os teores de cálcio e magnésio, mas também por sua ação neutralizadora da acidez do solo.

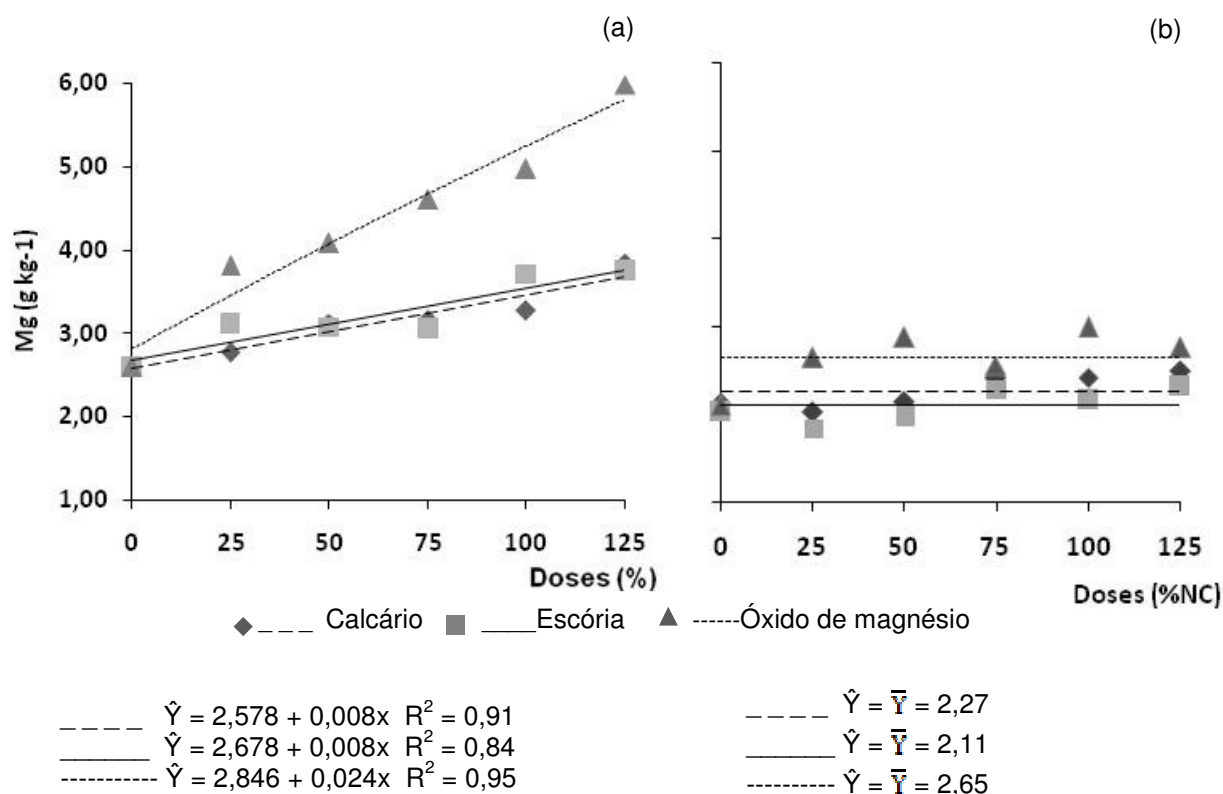


Figura 14 - Valores médios de teores de magnésio (cmol_c.dm⁻³) da folha para cada tipo de corretivo (calcário, escória e óxido de magnésio) em função das doses estudadas (0, 25, 50, 75, 100 e 125 % da necessidade de corretivo) para o LVAarg (a) e LVAMed (b).

5 CONCLUSÕES

1. Há influência das doses de diferentes corretivos da acidez nas características químicas dos solos, crescimento e teores de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro.
2. As propriedades químicas do solo são influenciadas pelos corretivos utilizados, porém com a utilização do óxido de magnésio obtem-se uma maior redução da acidez e aumento dos teores dos teores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio no solo.
3. Os teores de cálcio e magnésio na folha do cafeeiro são influenciados pelos corretivos e doses dos corretivos.
4. A escória de siderurgia e o óxido de magnésio demonstram grande potencial como corretivos de acidez e fonte de cálcio e magnésio, entretanto o óxido de magnésio influencia negativamente à produção de matéria seca do cafeeiro.

6 REFERÊNCIAS

ACCIOLY, A. M. A. et al. Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e contaminantes para plantas de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1483-1491, 2000.

ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, n. 6, 26 p. 1992. (Boletim Técnico)

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; DIAS, I. E.; BARROS, N. F. Aplicação de resíduo siderúrgico em Latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2 p. 229-304, 1993.

ANDERSON, D. L.; BOWER, J. E. **Nutrição da cana-de-açúcar**. Piracicaba: POTAFOS, 1992. 40 p.

BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, O. F. da. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 325-333, 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília; SNDA; DNDDV, CLAV, 1992.

BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL - BRDE (Porto Alegre, RS). **Indústria de corretivos no extremo sul**. Porto Alegre, 1969. 206p. (BRDE. Estudos Econômicos, 1).

CALBERONI, S. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4. ed. São Paulo: Humanista editora. FELCH/ USP, 2003.

CAMARGO, A. P. ; PEREIRA, A. R. Agrometeorology Of The Coffee Crop. GENEVE, SWITZERLAND: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1994. v. TD/615. 94 p.

CAMPUS FILHO, M. P. **Processos siderúrgicos**. introdução à metalurgia extrativa e siderurgia. Campinas: Fundação de desenvolvimento da Unicamp, 1981.

CARVAJAL, J. F. **Cafeto**: cultivo y fertilización. Berna: Instituto Internacional de La Potasa, 1984.

CARVALHO-PUPATTO, J. G. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, 2003.

CASTELO BRANCO, V. T. F. **Caracterização de misturas asfálticas com o uso de escória de aciaria como agregado**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

CATANI, R. A. Composição mineral do cafeeiro. Experimentação cafeeira. Campinas: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, **Instituto Agrônômico**, p.218-226, 1967.

CATANI, R. A.; GALLO, J. R. Avaliação da Exigência em Calcário dos Solos do Estado de São Paulo, Mediante Correlação entre o pH e a Porcentagem da Saturação de Bases, **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.30, p.49-60, 1955.

CATANI, R. A., MORAES, F. R. P. de. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.33, n.1, p.45-52, 1958.

CATANI, R. A. et al. A absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo cafeeiro aos dez anos de idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v.22, 1965

CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. **Plant Physiology**, v.41, p.165-72, 1966.

CLEMENTE, T. V. M. F.; CARVALHO, G. J.; GUIMARÃES, J. R.; MENDES, G. N. A Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio - primeiro ano. **Coffee Science**, v. 3, n. 1, p. 47-57, 2008.

COELHO, P. E. Da escória ao vidro. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo, v. 49, p. 36-45, dez. 1998.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Estimativa da safra brasileira de café 2008/2009**. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/4cafe08.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2009.

CORRÊA, J. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1279-1286, 2001.

CORRÊA, M.L.T.; MELLO, J.W.V., SILVA J. Avaliação do uso agrícola de uma escória de aciaria como corretivo da acidez de solos. IN: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA E MATERIAIS, 58., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...**São Paulo - SP: Associação Brasileira de Metalurgia Materiais, 2003. CD-ROM.

COSTA, A. N. da. Método de interpretação e diagnose foliar em café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia. 2001. cap. 17, p. 617-646.

DE MARIA, I. C. et.al. Efeito da Adição de Diferentes Fontes de Cálcio no Movimento de Cátions em Colunas de Solo. **Scientais Agriculture**. Piracicaba v.50, n.1, 87-98, 1993.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina: Planta, 2006.

FAVARIN, J. L. **A cultura do cafeeiro**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004.

FERRÃO, R; G. et.al. **Café Conilon**. Vitória, ES: INCAPER, 2007.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do *Sisvar* para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FORTES, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para produção de gramíneas forrageiras**. 2006. 137f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

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

GARCIA, A. W. R. Calagem para o cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, T. A. (Ed.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato; Instituto Internacional da Potassa, 1981. cap. 7, p. 103-115.

GARCIA, A. W. R. Calagem para o cafeeiro. In: RAIJ, B., VAN BATAGLIA, O.C., SILVA, N.M. (Coord.) **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.

GEYER, R. M. T., 2001, **Estudo sobre a potencialidade de uso das escórias de aciaria como adição ao concreto**. 2001. 216 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.. **Nutrição Mineral do cafeeiro**. 1997. 70f. Curso de Pós Graduação “Lato Sensu” (Especialização) Tutoria à Distância - UFLA/FAEPE, Lavras - MG, 1997.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. **Ibatiba promove 6º Encontro de Cafeicultores**. Disponível

em: <http://www.incaper.es.gov.br/?a=noticias/2008/outubro/noticias_06_10_2008>
Acesso em: 25 abr. 2009.

JESUS, J. de. **Atributos do solo e da nutrição do cafeeiro em sistema agroflorestal e em monocultivo**. 2008. 147 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

KAMPRATH, E. J., WATSON, M. E. Conventional soil tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, E. E., SAMPLE, E. C., KAMPRATH, E.J. (ed.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison : ASA/CSSA/SSSA, p.433-469, 1980.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.46, p.237-260, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, n.70, p.1-3, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2002. (Boletim técnico, 01).

LAZZARINI, W., MORAES, F. P. R., CERVELLINI, G. D. S., TOLEDO, S. V.; FIGUEIREDO, J. I., JUNQUEIRA, A. R., GONAGIN, A.; FRANCO, C. M. Cultivo de café em Latossolo Vermelho-Amarelo da região de Batatais, SP. **Bragantia**, v.34, n.14, p.229-239, 1975.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 182p. 2002.

MACHADO, A. T. **Estudo comparativo dos métodos de ensaios para avaliação da expansibilidade das escórias de aciaria**. 2000. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2000.

MACHADO, R. V. ; ANDRADE, F. V. ; RIBEIRO, R. C. C. ; RODRIGUES, R. R. **Rejeitos de Rochas Ornamentais como Corretivo Alternativo e a Produção de Matéria Seca e Teores de Ca e Mg na Planta e no Solo**. In: XXIII ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 2009, Gramado. Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Porto Alegre : Pallotti Gráfica e Editora, 2009. v. 2. p. 763-770.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

_____. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, POTAFOS, 1986. p.165-264.

_____. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

_____. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, 1984, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Cargill, 1984. p. 03-57.

MARTINEZ, H. E. P.; MONNERAT, P. H. Níveis crescentes de alumínio em duas variedades de café cultivadas em solução nutritiva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 23., 1991. Porto Alegre, **Resumo**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. p.109.

MARTINEZ, H. E. P. et.al. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade do cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé**. 2. ed., Belo Horizonte, 2004. 60p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 72).

MATIELLO, J. B.; CARVALHO, F. Pesquisa cafeeira - contribuição marcante para o desenvolvimento da cafeicultura. In: MALAVOLTA, E. et al. (Coord.) **Nutrição e adubação do cafeeiro**. 3. ed. Piracicaba: Potafós, 1983. p.1-9.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2005. 438 p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. New York, NY: International potash Institute, 1987. 687 p.

MEURER, E. J.; RHENHEIMER, D.; BISSANI, C. A. Fenômenos de sorção em solos. In: MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. 2. ed. Porto Alegre: Genesis, 2004. 290 p.

MORELLI, M. **Apostila didática da disciplina de morfologia e gênese do solo**. Santa Maria: Departamento de Solos - CCR – UFSM, 1986. 27 p.

MOTZ, H.; GEISELER, J. Products of steel slags an opportunity to save natural resources. **West Management**, v. 21, p. 285-293, 2001.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta sob condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

OLIVEIRA, C. M. R. **Aplicação de corretivos de acidez do solo e níveis de água no desenvolvimento e nutrição da cana-de-açúcar**. 2009. 80 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal Do Espírito Santo, Alegre, 2009.

OLIVEIRA, G. A. G.; LANGE, L. C. Gerenciamento dos resíduos sólidos industriais na área mineira da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. CD-ROM.

OLIVIER, S. **Avaliação dos impactos ambientais gerados pela produção de resíduos industriais do ramo metalúrgico: recuperação e reciclagem.** 2006. 132 f. Dissertação (Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

ORLANDO FILHO, J. O.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canal. **Informações Agronômicas**, Campinas, v.67, p.1-16, 1994.

PAULLETI, V. **Nutrientes: teores e interpretações.** 2. ed. Castro, PR: Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, 2004.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxicity of aluminium to coffee seedlings grown in nutrient solution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 993-997, 1982.

PIAU, W. C. **Efeito de escória de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L).** 1995. 124 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

_____. **Viabilidade do uso de escória como corretivo e fertilizante.** 1991. 99 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**, v.57, p.739-744, 2000.

_____. Efeito da escória de siderurgia e do calcário na disponibilidade de fósforo em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.9, p.1199-1204, 2001a.

_____. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n.1, p.201-209, 2001b.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar.** FUNEP: Jaboticabal, SP, 2001. 67p.

PREZOTTI, L. C; GOMES. J. A.; DADALTO. G. G; OLIVEIRA. J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 5ª aproximação.** Vitória, ES. SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111p.

RAIJ, B. V. et al. Alumínio trocável e saturação em bases como critério para recomendação de calagem. **Revista Científica do Instituto Agrônomo**, Campinas, v. 42, n.13, p.149-156, 1983.

RAMOS, L. C. S.; LIMA, M, M, A.; CARVALHO, A. Crescimento do sistema radicular e da parte aérea em plantas jovens de cafeeiros. **Bragantia**, v.41, n.9, p.91-99, 1982.

RHEINHEIMER, D. dos S. et al. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solos provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, p.1053-1059, 2003.

ROSOLEM, C. A.; BICUDO, S. J.; MARUBAYASHI, O. M. Soybean yield and root growth as affected by lime rate and quality. In: DATE, R.A.; GRUNDON, N.J.; RAYMENT, G.E.; PROBERT, M.E. (Ed.). **Plant soil interactions at low pH: Principles and mangement**. Dordrech: Kluwer, p.543-547, 1995

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

SANTINATO, R.; BARROS, U. V.; FIGUEIREDO, J. P. Efeitos de diferentes calcários na produção do cafeeiro em solo LVA – Cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 10., Poços de Caldas. **Resumos**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Café, 1983. p.18-20.

SANTINATO, R.; MATIELLO, J. B.; PREGELLI, H.; COSTA, E. C. **Doses crescentes e modo de aplicação de calcário dolomítico na formação do cafeeiro em solo LVA fase arenosa em Bandeirantes - MS**. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 13., 1986, São Lourenço. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1986. p.59 -60.

SILVA, F. C. (Org.) **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Rio de Janeiro: Embrapa Solo, 1999. 370 p.

SILVA, V. **Variáveis de acidez em função da mineralogia do solo**. 2006. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVEIRA, D. A. **Efeitos da calagem e da gessagem nas características químicas do solo, no desenvolvimento do sistema radicular e na produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 1995. 94 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade federal de Lavras, Lavras, 1995.

TAYLOR, D.; ARKIN. G. F. Root Zone Modification Fundamentals And Alternatives. In: TAYLOR, D.; ARKIN, G. F. (Ed.). **Modifying The Root Environment To Reduce Crop Trees**. St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 3-16

TAYLOR, G. J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.19, p.1179-1194, 1988.

VECCHI, R. E., **Efeito do gesso e de diferentes corretivos de acidez em características químicas do solo, produção e estudo nutricional dos citros**.1993. 53 f. Trabalho para conclusão de curso (graduação em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1993.

VIANA, A. S.; GARCIA, A. W. R.; CORRÊA, J. B. Estudo de níveis e relações N/K na formação de cafeeiros em solo LE-III. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 13. , 1986, São Lourenço. **Anais...** Rio de Janeiro : Ministério da Agricultura, 1986. p.68-71.

WINSLOW, M. D. Silicon, disease, resistance and yield of rice genotypes under upland cultural conditions. **Crop Science**, Madison, v. 32, p. 1208-1213, 1992.

APÊNDICES

Apêndice A – Resumo da análise de variância de pH, H+Al e Al³⁺ do solo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		pH	H+Al	Al ³⁺
Bloco	2	0,2123**	0,1756 ^{ns}	0,0156 ^{ns}
Solo	1	11,2779**	130,0208**	1,6379**
Corretivo	2	0,5212**	12,5040**	0,7818**
Dose	5	1,1034**	17,4161**	3,0568**
Solo x corretivo	2	0,0734 ^{ns}	0,8269**	0,6612**
Solo x dose	5	0,3465**	6,9964**	0,1172**
Corretivo x dose	10	0,0550 ^{ns}	1,3272**	0,1176**
Solo x Corretivo x dose	10	0,04143 ^{ns}	0,4208**	0,0320 ^{ns}
Resíduo	70	0,0361	0,1594	0,0233
Média Geral		4,46	5,37	0,6046
CV %		4,26	7,43	25,23

*Significativo a 5%; **Significativo a 1%; e ^{ns} não significativo.

Apêndice B – Resumo da análise de variância de Ca e Mg do solo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		Ca	Mg
Bloco	2	0,1307 ^{ns}	0,0026 ^{ns}
Solo	1	48,9513**	9,5884**
Corretivo	2	10,0243**	5,0294**
Dose	5	16,3400**	2,4043**
Solo x corretivo	2	2,7273**	1,0001**
Solo x dose	5	1,0881**	0,7012**
Corretivo x dose	10	0,5554**	0,4650**
Solo x Corretivo x dose	10	0,4572**	0,1747**
Resíduo	70	0,0643	0,0024
Média Geral		3,34	0,86
CV %		7,70	5,72

*Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; e ^{ns} não significativo.

Apêndice C – Resumo da análise de variância de CTC e V do solo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		CTC	V
Bloco	2	0,0019 ^{ns}	12,8676*
Solo	1	468,2085**	10,1752 ^{ns}
Corretivo	2	4,3140**	1872,7043**
Dose	5	3,2138**	2320,3102**
Solo x corretivo	2	7,4001**	28,5931**
Solo x dose	5	2,3525**	127,7425**
Corretivo x dose	10	0,64302**	98,5820**
Solo x Corretivo x dose	10	1,2017**	24,2122**
Resíduo	70	0,2486	3,40945
Média Geral		10,02	45,81
CV %		4,98	4,03

*Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; e ^{ns} não significativo.

Apêndice D – Resumo da análise de variância de P e K do solo

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		P	K
Bloco	2	1,9163**	2286,0931*
Solo	1	3622,9192**	3119,0051*
Corretivo	2	26,5788**	4425,8647**
Dose	5	12,6452**	3435,8745**
Solo x corretivo	2	314,8894**	3459,3759**
Solo x dose	5	10,8448**	2518,5097**
Corretivo x dose	10	8,7124**	371,6990*
Solo x Corretivo x dose	10	18,6590**	2125,6874**
Resíduo	70	2,1654	515,7102
Média Geral		23,07	176,60
CV %		6,37	12,86

*Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; e ^{ns} não significativo.

Apêndice E – Resumo da análise de variância da produção da matéria seca da parte aérea (MSPA), produção da matéria seca radicular (MSR) e produção da matéria seca total (MST) de *Coffea arabica* L.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios		
		MSPA	MSR	MST
Bloco	2	13,1061*	0,6284 ^{ns}	11,58 ^{ns}
Solo	1	15142,2945**	17,9178**	16182,2593**
Corretivo	2	3511,6531**	205,2398**	5096,5833**
Dose	5	200,2758**	53,1029**	446,7556**
Solo x corretivo	2	27,5996**	31,4101**	104,2870**
Solo x dose	5	37,2143**	5,6170**	19,1259**
Corretivo x dose	10	344,9204**	38,0913**	585,0389**
Solo x Corretivo x dose	10	35,2989**	4,1871**	36,99**
Resíduo	70	3,9958	4,1871	5,4976
Média Geral		70,92	19,01	89,94
CV %		2,82	6,36	2,61

*Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; e ^{ns} não significativo.

Apêndice F – Resumo da análise de variância de Ca e Mg da folha de *Coffea arabica* L.

Fonte de variação	GL	Quadrados médios	
		Ca	Mg
Bloco	2	0,6513 ^{ns}	0,0007 ^{ns}
Solo	1	1,6825*	40,2478**
Corretivo	2	0,5725 ^{ns}	8,0638**
Dose	5	6,6035**	3,0951**
Solo x corretivo	2	0,3581 ^{ns}	1,6294**
Solo x dose	5	0,8775 ^{ns}	1,0943**
Corretivo x dose	10	0,8281*	0,3931**
Solo x Corretivo x dose	10	0,5432 ^{ns}	0,3077
Resíduo	70	0,4101	0,1250
Média Geral		6,22	2,95
CV %		10,30	11,98

*Significativo a 5%; ** Significativo a 1%; e ^{ns} não significativo.

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](#)