

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

Eficiência de fontes, dinâmica do magnésio no solo sob a cultura do café no Brasil e comparação da análise de K, Ca e Mg em solos do Arkansas-EUA seco em estufa e úmido de campo

Priscila Oliveira Martins

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Solos e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2016**

Priscila Oliveira Martins
Engenheira Agrônoma

Eficiência de fontes, dinâmica do magnésio no solo sob a cultura do café no Brasil e comparação da análise de K, Ca e Mg em solos do Arkansas-EUA seco em estufa e úmido de campo

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **GODOFREDO CESAR VITTI**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração: Solos
e Nutrição de Plantas

**Piracicaba
2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Martins, Priscila Oliveira

Eficiência de fontes, dinâmica do magnésio no solo sob a cultura do café no Brasil e comparação da análise de K, Ca e Mg em solos do Arkansas-EUA seco em estufa e úmido de campo / Priscila Oliveira Martins. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.

63 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Coffea arabica* 2. Fertilizantes magnesianos 3. Índice de eficiência agronômica
4. Extratores de solo 5. Efeito da secagem no solo I. Título

CDD 633.73
M381e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

***A Deus,**
que me concede força e sabedoria
para vencer os obstáculos da vida*

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo amor incondicional, pelos momentos de felicidade e pelo amparo em todos os momentos em minha vida;

Aos meus pais, Valdir e Heliana e aos meus irmãos Tatiana e Fabricio por todo amor, carinho, ensinamentos e exemplo de vida;

Ao Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti, pela orientação, acolhimento e amizade;

Ao Prof. José Laércio Favarin, pelo auxílio no planejamento do experimento;

Ao Prof. Dr. Carlos Alexandre Costa Crusciol, pela amizade em todos esses anos, incentivo, suporte e apoio e ajuda com a estatística do experimento;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”;

À Coordenação para o Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

Thanks to the University of Arkansas and Crop, Soil, and Environmental Science Department for receiving me. Thanks to Professor Nathan Slaton for the opportunity, support in the research project, teaching, guidance and patience. Thanks to colleagues Matt, Randy, Rasel, Lisa, Nancy, Russell, Betsy and Cheri, for all the support in my time in Fayetteville, for friendship, help and patience. All of you gave me a great learning year.

Aos Docentes dos departamentos de Ciência do Solo, Produção Vegetal e CENA, por todo o ensinamento ministrado em aula;

Ao João Moraes, proprietário da Fazenda Santana, por ceder a área para o desenvolvimento do experimento e não medir esforços para o bom andamento do projeto e por sempre ser muito solícito;

Aos funcionários da Fazenda Santana Gustavo, Natália e outros, por nós dar suporte no experimento sempre com muita dedicação, fornecendo todos os dados e equipamentos que foram necessários, por seu tempo despendido e mão de obra;

À Unipinhal e aos professores Simone Baitelo, Maristela Piccinini e Vasco Altafin, pela gentileza por cederem os dados meteorológicos da cidade de Espírito Santo do Pinhal.

Aos amigos, Thiago (Bateria), Edson, Carlos Antônio (Baiano), Eduardo, Silvia, Letícia (Eva), Cintia, Fernanda, que me ajudaram em todos os momentos na execução deste experimento e aos demais amigos que me ajudaram e que por ventura eu tenha esquecido de citar, sem vocês seria impossível a condução desse experimento, meu muito muito obrigada;

Ao Gape, pelo auxílio no experimento;

Aos funcionários dos Departamentos, Ciência do Solo e Produção Vegetal pela colaboração e auxílio em vários momentos dessa pesquisa;

Aos funcionários da biblioteca da ESALQ, pelos serviços prestados;

Às empresas K+S Brasileira Fertilizantes e Produtos Industriais, Magnesita Refratários S.A. e Intercuf Industria e Comércio, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento do projeto, e à empresa Produquímica Indústria e Comércio por fornecer fertilizantes para o experimento;

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização deste trabalho.

Muito obrigada!

*“Mude suas opiniões,
sustente seus princípios;
troque suas folhas,
mantenha intacta suas raízes”.*

Victor Hugo

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO.....	15
Referências.....	16
2 EFICIÊNCIA DE FONTES E DINÂMICA DO MAGNÉSIO NO SOLO SOB A CULTURA DO CAFÉ.....	17
Resumo.....	17
Abstract.....	17
2.1 Introdução.....	18
2.2 Material e métodos.....	19
2.3 Resultados e Discussão.....	25
2.4 Conclusões.....	37
Referências.....	38
3 COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE K, Ca E Mg NO SOLO SECO EM ESTUFA E ÚMIDO DE CAMPO ANALISADOS COM OS EXTRATORES MEHLICH-3 E ACETATO DE AMÓNIO.....	45
Resumo.....	45
Abstract.....	45
3.1 Introdução.....	46
3.2 Material e métodos.....	48
3.3 Resultados e Discussão.....	51
3.4 Conclusões.....	58
Referências.....	60

RESUMO

Eficiência de fontes, dinâmica do magnésio no solo sob a cultura do café no Brasil e comparação da análise de K, Ca e Mg em solos do Arkansas-EUA seco em estufa e úmido de campo

A cultura do café no Brasil tem apresentado frequente deficiência de magnésio (Mg) limitando sua produtividade, portanto faz-se necessário o estudo de fontes que contenham Mg para essa cultura. Por outro lado, o estudo das metodologias de análise de K, Ca e Mg no solo é um outro ponto que precisa ser estudado para melhor manejo da fertilidade do solo e recomendação de adubações. Objetivou-se com o primeiro experimento avaliar a eficiência de fontes de magnésio para a cultura do café e a dinâmica deste nutriente no perfil do solo. E com o experimento desenvolvido em Arkansas-EUA, avaliar as correlações entre as concentrações de nutrientes do solo seco em estufa e úmido de campo extraídos com Mehlich-3 e $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$. Observou-se que o óxido e oxissulfato de Mg elevaram os valores de pH e CTC e diminuíram a concentração de H + Al do solo. As fontes diminuíram a disponibilidade de K e Ca, e aumentaram o Mg no solo. Na planta, óxido e sulfato de Mg proporcionaram maior concentração de Mg foliar. Apenas no segundo ano de avaliação houve aumento de produtividade do café. Os fertilizantes óxido e oxissulfato de Mg obtiveram o maior índice de eficiência agrônômica em relação ao carbonato de Mg. No segundo experimento, K, Ca e Mg extraíveis com Mehlich-3 e NH_4OAc foram altamente correlacionados ($r^2 > 0,95$) tanto para solo úmido de campo quanto para o seco em estufa. A relação entre as concentrações de K no solo seco em estufa e úmido de campo para Mehlich-3 e NH_4OAc foram muito semelhantes e altamente correlacionados ($r^2 = 0,92$). A secagem do solo em estufa teve efeito mínimo sobre as concentrações de Ca e reduziu a concentração de Mg tanto para Mehlich-3 quanto para NH_4OAc . Entre os nutrientes estudados, a concentração de K foi a mais afetada pela secagem em estufa, necessitando de pesquisas de campo para correlacionar e calibrar novas recomendações agrônômicas.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; Fertilizantes magnesianos; Índice de eficiência agrônômica; Extratores de solo; Efeito da secagem no solo

ABSTRACT

Sources efficiency, soil magnesium dynamics under the Brazil coffee crop and analysis comparison of K, Ca and Mg in Arkansas-US field-moist and oven-dry soil

Brazilian coffee crop has often presented magnesium (Mg) deficiency limiting its productivity, so it is necessary to study sources containing Mg for this crop. On the other hand, the study of K, Ca and Mg soil analysis methodologies are another point that needs to be study to better management of soil fertility and fertilizer recommendation. The purpose of the first experiment was to evaluate Mg sources efficiency for coffee crop and nutrient dynamics in the soil profile. The second experiment objective, developed in Arkansas-US, was to evaluate the correlation between field-moist and oven-dry soil nutrient concentrations extracted with Mehlich-3 and 1 mol L⁻¹ NH₄OAc. It was observed that the oxide and Mg oxysulfate increased pH and CEC values and decreased H + Al concentration. Mg sources declined K and Ca availability, and increased soil Mg. In the plant, oxide and Mg sulfate provided higher leaf Mg. Only in the second year there was increase coffee productivity. Oxide and Mg oxysulfate fertilizers had the highest agronomic efficiency index relative to Mg carbonate. In the second experiment, Mehlich-3 and NH₄OAc extractable K, Ca, and Mg concentrations were highly correlated ($r^2 > 0.95$) for both field-moist and oven-dry soil. The relation between oven-dry and field-moist K concentrations for Mehlich-3 and NH₄OAc was very similar and highly correlated ($r^2 = 0.92$). Oven drying had minimal effect on Ca concentrations and decreased Mg concentrations for both Mehlich-3 and NH₄OAc. Among the Mehlich-3 extractable nutrients that are used to make fertilization decisions, K concentration was most affected by oven-drying and requires field research to correlate and calibrate new agronomic recommendations.

Keywords: *Coffea arabica*; Magnesium fertilizer; Agronomic efficiency index; Soil extractors; Soil drying effect

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café (*Coffea arabica*) no mundo (OIC, 2015a), com estimativa de produção para o ano de 2015 de aproximadamente 42 milhões de sacas de 60 kg do grão beneficiado (CONAB, 2015). O café brasileiro constitui uma parcela de aproximadamente 35% do mercado internacional (OIC, 2015a). O país destaca-se não somente no mercado externo como também no interno, sendo o segundo maior consumidor mundial de café, perdendo apenas com os Estados Unidos (OIC, 2015b).

Para melhorar a produção atual dos cafezais brasileiros, a nutrição da planta é de fundamental importância, pois um dos principais problemas técnicos presentes na cafeicultura brasileira é a implantação de cafezais em solos de baixa fertilidade que exigem maiores investimentos na manutenção da fertilidade de lavouras mais produtivas.

Em levantamentos realizados para diagnosticar a situação nutricional das lavouras de café no país, observa-se que a carência mais comum e grave, baseando-se nos teores de nutrientes no solo e na planta, é a de magnésio na maioria dos casos (MATIELLO et al., 2002).

O Mg na planta participa da estrutura da clorofila, do transporte de carboidratos, fotossíntese, respiração, de vários processos como regulador enzimático, armazenamento e transferência de energia e proporciona maior absorção de H_2PO_4^- pelas plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; SILVA; WILLIAMS, 1991). No entanto, as exigências das culturas em Mg são relativamente baixas, havendo poucos dados de experimentos mostrando os benefícios do Mg às culturas, pois é nutriente pouco utilizado em adubações, sendo adicionada ao solo, quase que exclusivamente pela prática da calagem. Contudo, as deficiências têm ocorrido com certa frequência em solos ácidos, e em situações que provocam desequilíbrio, como aplicações elevadas de potássio ou de calcário calcítico (FAQUIN, 2005).

O procedimento de análise de solo avalia o Mg trocável, mais o Mg da solução do solo. Inúmeros processos de extração, com soluções salinas, ácidos diluídos ou resina trocadora de cátions, fornecem resultados equivalentes (RAIJ, 2011), e em função disso, não há muitos questionamentos sobre a determinação de magnésio em solos. Contudo outras metodologias são de grande valia para o entendimento da dinâmica desse nutriente no perfil do solo e em diferentes tipos de

solo, que podem possibilitar manejo adequado da fertilidade do solo, buscando melhorar a recomendação de adubações para as culturas para incremento de produtividade e diminuição de gastos com adubações excessivas.

Em vista dos pontos acima, buscou-se com estes experimentos elucidar vários pontos na pesquisa voltada ao estudo do Mg no solo, na planta, fontes deste elemento e métodos de análise utilizados.

Referências

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em:
<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_09_30_11_17_06_boletim_cafe_setembro_2015.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2015.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FAQUIN, V.; **Nutrição de plantas** Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. **Cultura de café no Brasil**: novo Manual de Recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ Fundação PROCAFÉ, 2002. 438 p.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. Disponível em:
<<http://www.ico.org/prices/m1-exports.pdf>>. Acesso em: 30 nov.2015a.

_____. ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. Disponível em:
<<http://www.ico.org/documents/cmr-0712-p.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2015b.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.

SILVA, J. J. R. F.; WILLIAMS, R. J. P. **The biological Chemistry of the Elements**: The Inorganic Chemistry of Life. Oxford: Clarendon Press, 1991. 582 p.

2 EFICIÊNCIA DE FONTES E DINÂMICA DO MAGNÉSIO NO SOLO SOB A CULTURA DO CAFÉ

Resumo

O Mg é um nutriente pouco utilizado em adubações, sendo adicionado ao solo quase que exclusivamente pela calagem. Contudo, deficiências têm ocorrido com frequência na cultura do café, em situações que provocam desequilíbrio, como aplicações elevadas de K ou calcário pobre em Mg, por isso faz se necessário a utilização de fontes que contenham magnésio para corrigir essa deficiência. É carente a literatura para comparar a eficiência das fontes disponíveis no mercado. Objetivou-se com esse experimento avaliar a eficiência de fontes de magnésio para a cultura do café e a dinâmica deste nutriente no perfil do solo. O experimento foi desenvolvido em Espírito Santo do Pinhal-SP, com delineamento experimental em blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram compostos por 5 fontes de magnésio (óxido de Mg, oxissulfato de Mg, sulfato de Mg, carbonato de Mg e fosfito de Mg) e uma dose de 122 kg ha⁻¹ de Mg via solo ou 0,7 kg ha⁻¹ de Mg via foliar. O experimento foi conduzido por 2 anos agrícolas. As fontes de Mg influenciaram os atributos químicos do solo. Óxido e oxissulfato de Mg elevaram os valores de pH e CTC e diminuíram a disponibilidade de H + Al, por outro lado as fontes sulfato e carbonato aumentaram o H + Al. De modo geral, as fontes diminuíram a concentração de K e Ca e aumentaram o Mg do solo. Na planta, as fontes aumentaram as concentrações de Ca, Mg e S foliar, sendo que óxido e sulfato de Mg foram as que proporcionaram maior Mg foliar. Apenas no segundo ano de avaliação as fontes aumentaram a produção de grãos. Os fertilizantes óxido e oxissulfato de Mg foram as fontes que obtiveram o maior índice de eficiência agrônômica em relação ao carbonato de Mg.

Palavras-chave: *Coffea arabica*; Fertilizantes magnesianos; Índice de eficiência agrônômica; Óxido de magnésio; Oxissulfato de magnésio; Sulfato de magnésio; Carbonato de magnésio; Fosfito de magnésio

Abstract

Mg is a nutrient little used in fertilizer, being added to the soil almost exclusively by liming. However, coffee crop deficiencies have occurred frequently in situations that cause imbalances such as high K application or poor Mg limestone, so it makes it necessary to use fertilizers containing Mg to correct this deficiency and literature to compare sources efficiency commercially available. The objectives were to evaluate Mg sources efficiency for coffee crop and nutrient dynamics in the soil profile. Experiment was developed in Espírito Santo do Pinhal, São Paulo state, Brazil. Experimental design was a randomized block design with three replications. Treatments consisted of 5 Mg sources (Mg oxide, Mg oxysulfate, Mg sulfate, Mg carbonate and Mg phosphite), two levels of Mg 0 and 122 kg Mg ha⁻¹. Experiment was conducted for two growing seasons. Mg sources influenced the soil chemical properties. It was observed that the oxide and Mg oxysulfate increased pH and CEC values and decreased H + Al availability, otherwise, sulfate and carbonate sources have increased H + Al. Mg sources declined K and Ca availability, and increased soil Mg. In the plant, Mg sources increased Ca, Mg and S leaf concentrations. Oxide and

Mg sulfate provided higher leaf Mg. Only in the second year there was coffee productivity increase. Oxide and Mg oxysulfate fertilizers had the highest agronomic efficiency index relative to Mg carbonate.

Keywords: *Coffea arabica*; Magnesium fertilizer; Agronomic efficiency index; Magnesium oxide; Magnesium oxy-sulphate; Magnesium sulphate; Magnesium carbonate; Magnesium phosphite

2.1 Introdução

Os fertilizantes minerais e orgânicos são primordiais para o desenvolvimento da agricultura. Não há possibilidades de o solo suprir naturalmente os nutrientes necessários para as produções exigidas para o sustento da humanidade. Nos dias atuais é preciso produzir mais alimentos em menor área, ou seja, aumentar a produtividade das culturas e para que isso ocorra os fertilizantes minerais são imprescindíveis (RAIJ, 2011).

A falta de magnésio em cafezais ocorre frequentemente, o que pode ser explicado devido a: a) sucessivas aplicações superficiais de calcário rico em cálcio para correção do solo; b) elevada adubação potássica que eleva a relação K/Mg no solo; c) aumento da produtividade do café aumentando a exigência por Mg e exportação desse nutriente pela cultura; d) falta de parâmetros para recomendação de Mg.

Segundo Matiello et al. (2002), trabalhos de levantamento realizado por análise foliar no ano de 1999 na região do sul de Minas mostraram deficiência de Mg em 58% das amostras coletadas. Esses dados são reforçados por outro levantamento feito pelo Dr. Fabio Vale para a empresa Mosaic, juntamente com as cooperativas Cooxupé e Cooparaiso, em 2007 e publicado em MATIELLO et al. (2010), utilizando 6500 amostras de folhas coletadas nas regiões de Minas Gerais e São Paulo, em que, aproximadamente 66% das amostras apresentavam-se deficientes em magnésio, ou seja, com teor foliar abaixo do considerado adequado para o cafeeiro de 3,5 a 5,0 g kg⁻¹ de Mg segundo (RAIJ et al., 1997).

Do ponto de vista da nutrição vegetal nenhum nutriente pode ser considerado secundário, no entanto, pela legislação, o Mg é classificado como secundário. O Mg é comercializado rotineiramente por ser componente de fertilizantes contendo macronutrientes e corretivos de acidez do solo, não sendo valorizado e por isso não

desperta interesse do setor comercial para desenvolvimento de fontes específicas para esse nutriente (RAIJ, 2011).

A forma mais comum de fornecimento de Mg para as plantas é feito por intermédio da calagem (carbonato de Ca e Mg), embora também sejam usados silicatos e óxidos de magnésio (RAIJ, 2011). A carência de magnésio pode ser também corrigida através da aplicação de sulfato de magnésio ou do sulfato de potássio e magnésio aplicados ao solo (MALAVOLTA, 1980), ou ainda através de fontes de aplicação via foliar.

As quantidades de Mg aplicadas na maioria dos fertilizantes são baixas em comparação com as perdas por lixiviação e as adições via calcário. As deficiências de Mg são comuns e agravadas em culturas que recebem adubações potássicas elevadas. No entanto, acredita-se que o problema pode ser resolvido utilizando fertilizantes contendo magnésio.

Um dos principais fatores que prejudicam a produtividade do cafeeiro é o manejo inadequado da calagem superficial e elevada adubação potássica. Em experimento a aplicação de fósforo, magnésio e cálcio na formação do cafeeiro proporcionaram maior desenvolvimento da planta sob o efeito de diversos nutrientes isolados ou combinados (MATIELLO, 1986) evidenciando a importância da adubação equilibrada entre esses nutrientes.

Como a calagem não atende a demanda por Mg da cafeicultura, em razão das altas doses de K e por não haver muitos dados de respostas das culturas a este nutriente utilizando fontes que forneçam Mg para a cultura, partiu-se da hipótese de que outras fontes contendo magnésio podem ser mais eficientes que o calcário no fornecimento desse nutriente. Objetivou-se com esse experimento: a) avaliar a dinâmica do Mg no perfil do solo em função de diferentes fontes aplicadas; e b) avaliar o efeito das fontes de magnésio para a cultura do café.

2.2 Material e métodos

Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido nos anos de 2013 e 2014, na Fazenda Santana, em Espírito Santo do Pinhal – SP, latitude 22°05'S, longitude 46°44' W, e altitude de 831 m.

O solo foi classificado como Argissolo Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2006), textura argilosa (Tabela 2.1). Durante o período experimental, a precipitação foi medida diariamente utilizando pluviômetro. Os dados de pluviosidade e temperatura podem ser observados na Figura 2.1.

Antes da instalação do experimento os atributos químicos do solo foram determinados nas profundidades de (0,0-0,20; 0,20-0,40 m) (Tabela 2.1). Foram coletadas 15 amostras simples para formar uma amostra composta de todas as profundidades, sempre na projeção da copa das plantas de café, utilizando-se trado tipo tubular fechado.

Tabela 2.1 - Características químicas, físicas, físico-química e mineralógica de amostras do solo (Argissolo Amarelo distrófico) antes da instalação do experimento

Prof. cm	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	S mg dm ⁻³	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al mmol _c dm ⁻³	SB	CTC	V%
0,0-0,20	5,1	22	41	63	5,5	16	5	0	23	26,5	49,5	46
0,20-0,40	5,0	18	14	112	5,0	9	4	0	22	18,0	40,0	42

Prof. cm	Areia* grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe**	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	Ki	Kr
		%						%				
0-0,05	322	227	75	376	Argilosa	14,2	14,6	7,6	2,3	0,12	1,65	1,24
0,05-0,10	356	188	78	378	Argilosa	11,3	13,5	7,7	2,2	0,26	1,43	1,04
0,10-0,20	321	192	84	404	Argilosa	13,0	16,0	7,5	2,2	0,12	1,38	1,06
0,20-0,40	280	235	54	431	Argilosa	15,8	17,2	7,2	2,2	0,09	1,56	1,23

* Determinados pelo método Bouyoucos (densímetro); S.S.S.A. Book Series: 5 Methods of Soil Analysis Part4; Classe de diâmetro (mm) U.S.D.A.; **Classe de textura: Argila (c/ dispersante) até 149 g/kg = arenosa, de 150 a 249 g/kg = média arenosa, de 250 a 349 g/kg = média argilosa, de 350 a 599 g/kg = argilosa, acima de 600 g/kg = muito argilosa. Si = extr. sol. NaOH₂O, determ. gravimétrica; Al = complexometria pelo EDTA; Ti = ox. da mat. org., colorimétrica; Fe e Mn = extr. at. sulfúrico (H₂SO₄ a 50%). Ki = SiO₂/Al₂O₃ x 1,7; Kr = (% de SiO₂/0,60) / ((% de Al₂O₃/1,02) + (% de Fe₂O₃/1,60)).

O pH do solo foi determinado em uma suspensão de CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹ (1:2,5 solo/solução). A matéria orgânica do solo foi determinada pelo método colorimétrico usando solução de dicromato de sódio. A acidez potencial a pH 7,0 (H⁺ + Al³⁺) foi extraída por acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,0 e determinado por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹. O Al³⁺ trocável foi extraído com 1 mol L⁻¹ de KCl neutro, em uma proporção de 1:10 solo/solução e determinado por titulação com 0,025 mol L⁻¹ de solução de NaOH. O P-H₂PO₄⁻ disponível, Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ trocáveis foram extraídos utilizando resina trocadora de íons e determinados por espectrometria de absorção atômica. A capacidade de troca catiônica (CTC) foi calculada pela soma da concentração dos cátions H⁺, Al³⁺, K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺. A saturação por bases (V%) foi calculada dividindo-se a soma de K⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺ pela CTC e multiplicando o resultado por 100% (RAIJ et al., 2001).

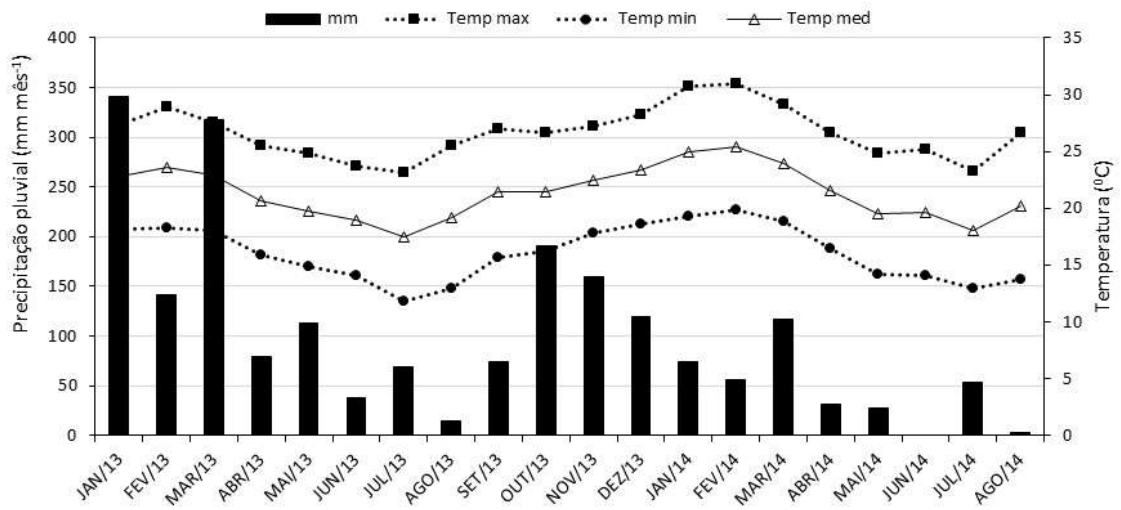


Figura 2.1 – Precipitação pluviométrica média mensal obtida na Fazenda Santana, e temperaturas máximas, mínimas e médias mensais, fornecidas pela Faculdade Unipinhal em Espirito Santo do Pinhal – SP nos anos 2013 e 2014

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos foram compostos pelo controle (sem aplicação de Mg), 4 fontes de magnésio (Mg) via solo e 1 fonte de aplicação foliar, descritas na Tabela 2.2. Foi aplicada uma dose de Mg equivalente a 122 kg ha^{-1} de Mg via solo ou $0,7 \text{ kg ha}^{-1}$ de Mg via foliar.

A dose de Mg via solo foi calculada para elevar a concentração do Mg no solo de 5 para $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0-0,20 m. A dose via foliar foi a recomendada pela empresa fabricante do produto comercial. Assim, as doses aplicadas dos produtos comerciais foram: 217 kg ha^{-1} de óxido de Mg, 405 kg ha^{-1} de oxissulfato de Mg, 810 kg ha^{-1} de sulfato de Mg, 486 kg ha^{-1} de carbonato de Mg e 6 kg ha^{-1} de fosfito de Mg.

Cada parcela foi constituída por 4 fileiras de plantas, com 6 plantas por fileira, totalizando 24 plantas, sendo consideradas úteis as 4 plantas em cada uma das duas fileiras centrais. O espaçamento entre linhas foi de 3,2 m e entre plantas de 0,7 m perfazendo uma área de 54 m^2 por parcela. As parcelas foram separadas umas das outras por uma linha de plantas nas laterais.

Tabela 2.2 - Fontes de magnésio e suas garantias

Nome comum	Fórmula química	% Mg				% Ca				% S	% P
		Solúvel H ₂ O	Solúvel HCl 2%	Solúvel CNA+H ₂ O	Total HCl 1+1	Solúvel H ₂ O	Solúvel HCl 2%	Solúvel CNA+H ₂ O	Total HCl 1+1		
Óxido de Mg	MgO	3,2	51,4	50,8	51,6	0,15	0,48	0,51	0,54	--	--
Oxissulfato de Mg	MgO.MgSO ₄	6,1	16,0	26,7	27,9	0,12	0,43	0,40	0,46	8,0	--
Sulfato de Mg	MgSO ₄ .H ₂ O	7,3	8,1	14,5	15,2	0,28	0,52	0,50	0,60	19,5	--
Carbonato de Mg	MgCO ₃	0,4	1,6	2,9	21,1	0,03	0,10	0,10	0,20	--	--
Fosfito de Mg	MgH ₂ PO ₃	10,5	--	--	10,6	--	--	--	--	--	62,6*

*P total (P na forma de fosfito)

Cultivar do cafeeiro

Foi utilizado a cultivar de café arábica Catuaí Amarelo, possui porte baixo; internódios curtos; ramificação secundária abundante; frutos amarelos, de maturação média a tardia; sementes de tamanho médio; peneira média de 16; suscetível à ferrugem. Sendo indicada para plantios adensados, superadensados ou em renque (FAZUOLI, 2015).

As linhagens dos cultivares Catuaí Amarelo têm ampla capacidade de adaptação, apresentando produtividade elevada na maioria das regiões cafeeiras no Brasil ou mesmo em outros países. Seu porte baixo, permite maior densidade de plantio, tornando mais fácil a colheita e mais eficiente os tratamentos fitossanitários. Essa cultivar já produz logo nos dois primeiros anos de colheita, por isso, necessita de eficiente programa de adubação (FAZUOLI, 2015).

Condução do experimento

A área de café foi plantada em 2007, sendo o experimento, portanto instalado em cafezal em produção (6 anos de idade). Os tratamentos foram aplicados uma única vez para as fontes via solo, em 22 de janeiro de 2013, sendo a aplicação feita de forma manual, distribuindo-se uniformemente as fontes sob a projeção da copa das plantas de café, e no caso da fonte foliar, fosfito de Mg, foi aplicado com o auxílio de pulverizador costal, e aplicação dividida em 6 parcelas iguais, sendo aplicada 3 parcelas sempre no primeiro semestre de cada ano com intervalos de 45 dias entre cada aplicação. O manejo fitossanitário e adubação complementar

durante a condução do experimento foi realizado de acordo com os critérios do produtor e estão descritos na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Produtos fitossanitários e adubação complementar aplicados durante a condução do experimento

Ano de aplicação	Insumo	Ingrediente ativo ou garantia do produto	Dosagem/ha	Atividade
2014/2015	Uréia 44	45% N	362 kg N	Adubação via solo
2014/2015	01-29-05	1% N; 29% P ₂ O ₅ ; 5% K ₂ O	134 kg	Adubação via solo
2014	KCl	58% K ₂ O	36 kg K ₂ O	Adubação via solo
2014/2015	Master Forth TB	6% N; 14% P	0,1 L	Pulverização*
2014/2015	Dacafé	10% N; 2,4% S; 1% B; 5% Zn; 0,05% Mo	3,0 L	Pulverização
2014/2015	Supera	537 g L ⁻¹ CuOH	1,5 L	Pulverização
2014/2015	Stimulate	0,009% Cinetina; 0,005% Ac. Giberélico; 0,005% Ac. 4-indol-3-ilbutírico	0,4 L	Pulverização
2014/2015	Sphere Max	Trifloxistrobina 375 g L ⁻¹ ; Ciproclonazol 160 g L ⁻¹	0,4 L	Pulverização
2014/2015	Aureo	Éster metílico de óleo de soja 720 g L ⁻¹	0,25 L/100L solução	Pulverização
2014/2015	Palha de café ----		2 kg/planta	Adubação via solo

*400L de solução ha⁻¹

Determinação das características químicas do solo

As características químicas do solo (pH, H+Al, Al, P, K, Ca, Mg, V%, CTC e S) foram avaliadas aos 3 e 15 meses após a aplicação das fontes de Mg.

Foram coletadas 4 amostras simples, ao acaso dentro da área útil de cada parcela, para formar uma amostra composta, nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m, sempre na projeção da copa das plantas de café com o auxílio de uma sonda. As amostras foram secas e peneiradas (peneira de 2 mm) e analisadas de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (2001) e S segundo Vitti (1989).

Avaliação do estado nutricional do cafeeiro e produtividade de grãos

Foram amostradas em abril de 2013 e abril de 2014, mesma época de coleta do solo, 4 plantas em cada parcela, coletando-se o 3º e 4º pares de folhas a partir da ponta dos ramos produtivos, no terço médio da planta (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). As folhas foram submetidas à lavagem rápida com água destilada

contendo um pouco de detergente, em seguida foram enxaguadas com água destilada para remover todo o detergente seguindo-se metodologia descrita por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Após a lavagem, as folhas foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, por 3 dias, sendo em seguida moídas em moinho tipo Willey para análise de macronutrientes. As concentrações de N, P, K, Ca, Mg e S foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, depois da digestão nítrico-ácido perclórico (HNO₃-HClO₄). O nitrogênio foi analisado pelo método semimicro- Kjeldahl (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997).

A colheita foi realizada manualmente em julho de 2013 e junho de 2014 quando a maioria dos frutos estavam maduros ou na fase “cereja” (de 70 a 80% nessa fase). A produtividade foi medida em quatro plantas escolhidas aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela. Para essa avaliação o café foi derriçado sobre um pano e, os grãos colhidos foram pesados para posterior cálculo da produtividade. Uma amostra de 3 kg foi tomada de cada parcela e seca ao sol. Os grãos secos foram beneficiados, e uma pequena amostra foi tomada para determinação da umidade. Com os dados de umidade de cada amostra a umidade dos grãos beneficiados foi corrigida para 10% (base úmida) e calculou-se a produtividade de grãos beneficiados em sacas de 60 kg ha⁻¹.

Produtividade relativa

A produtividade relativa foi calculada mediante a relação entre a produtividade em cada tratamento e a produtividade no tratamento controle (sem Mg).

Índice de Eficiência Agronômica

Seguindo a metodologia de Goedert e Lobato (1984), o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) foi calculado por meio da relação percentual entre a produtividade propiciada pelas fontes de Mg, subtraindo-se de ambas a produtividade do tratamento controle, sendo calculada da seguinte forma:

$$\text{IEA (\%)} = [(Y2 - Y1) / (Y3 - Y1)] \times 100$$

Em que, Y1 = produtividade de grãos obtida pelo tratamento controle (sem aplicação de Mg); Y2 = produtividade de grãos obtida com a fonte testada; e Y3 =

produtividade de grãos obtida pela fonte referência (carbonato de Mg). O valor Y é obtido pela média das parcelas de cada tratamento.

Análises estatísticas

Todos os resultados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). Tratamentos e ano de avaliação (apenas para resultados de planta) foram considerados como efeitos fixos. Nos efeitos significativos, as médias foram separadas pelo teste t LSD. Os efeitos foram considerados significativos à $P \leq 0,10$.

2.3 Resultados e discussão

Atributos químicos do solo

Observou-se aumento no pH do solo até a profundidade de 0,10 m, 3 meses após a aplicação da fonte óxido de Mg (Tabela 2.4, Figura 2.2). Aos 15 meses os valores de pH foram menores do que aos 3 meses, no entanto, o oxissulfato de Mg manteve valor de pH maior que o controle na camada de 0-0,05 m, enquanto que sulfato e carbonato de Mg apresentaram valor de pH menor que o controle. Resultados semelhantes e contraditórios foram observados por Hardter, Rex e Orlovius (2004) aplicando óxido e sulfato de Mg, respectivamente.

O aumento do pH do solo com a aplicação de óxido de Mg ocorreu devido a característica dessa fonte de ser altamente reativa, por promover a liberação de oxidrilas (O^-) que ao reagirem com a água no solo formam hidroxilas (OH^-) neutralizando os íons H^+ , reação semelhante ao uso dos corretivos que aumentam a concentração das hidroxilas no solo e reduzem a concentração de H^+ em solução (OLIVEIRA; PAVAN, 1996).

Sulfato de Ca ou Mg é considerado uma fonte que apresenta reação neutra no solo pois, não forma nem libera H^+ ou OH^- . Vários trabalhos não apresentaram alteração no pH (VELOSO et al., 1992; DE MARIA et al., 1993; AZEVEDO et al., 2004; FOLONI et al., 2008 e RAMPIM et al., 2011), enquanto outros mostraram leve aumento da acidez do solo (BORGES et al., 1998; SILVEIRA et al., 2008; LEITE et al., 2012 e RAMOS et al., 2013), com aplicação de sulfato de Ca.

As fontes óxido e carbonato de Mg, aos 3 meses após sua aplicação, reduziram a acidez potencial ($H + Al$) do solo até 0,10 m de profundidade (Figura

2.2). Reação contrária foi observada após a aplicação do sulfato de Mg que aumentou a concentração de H + Al de 0,05 até 0,40 m. Aos 15 meses após a aplicação, o oxissulfato e o óxido de Mg neutralizaram H + Al nas camadas de 0-0,05, 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m. O sulfato de Mg manteve a concentração alta de H + Al em comparação ao controle, também nesta avaliação, o carbonato de Mg proporcionou aumento na acidez potencial, semelhante ao sulfato.

Com a elevação do pH do solo decorrente da adição de alguns dos fertilizantes que possuem poder de neutralização da acidez, o H^+ é dissociado em solução e reage com hidroxilas e oxidrilas liberadas pelas fontes, uma parte dessas hidroxilas reagem com os íons Al causando sua precipitação na forma de $Al(OH)_3$, portanto a acidez trocável apresenta relação inversa com o pH do solo (OLIVERIA; PAVAN, 1996; ABREU JUNIOR; MURAOKA; LOVORANTE, 2003). Segundo Crusciol et al. (2011) o aumento do pH na superfície do solo, pode acelerar a velocidade com que os íons cloreto, sulfato, nitrato, formiato e bicarbonato, acompanhados por Ca^{2+} e Mg^{2+} , movimentam-se para o subsolo e reagem com H^+ e Al^{3+} , no entanto a alta concentração de sulfato no solo proveniente da fonte sulfato de Mg promove lixiviação de bases pela formação de pares iônicos com SO_4^{2-} , aumentando a acidez do solo (H^+ e Al^{3+}).

Tabela 2.4 - ANOVA (Probabilidade de F para os tratamentos) significância para atributos químicos do solo avaliados aos 3 e 15 meses após a aplicação superficial das fontes de magnésio

Parâmetros	Probabilidade de F							
	3 meses (2013)				15 meses (2014)			
	Profundidade (m)				Profundidade (m)			
	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40	0-0,05	0,05-0,10	0,10-0,20	0,20-0,40
pH (CaCl ₂)	0,0812	0,0683	0,1040	0,6624	0,0796	0,0796	0,0245	0,2915
H + Al	0,0005	0,0001	0,0018	0,0401	0,0012	0,0084	0,0092	0,0169
Al ³⁺	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0010	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004
S	0,0006	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
P resina	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0016	0,0094	0,0003	<0,0001
K ⁺	0,0166	0,0170	0,0085	0,0001	0,0015	0,0021	0,0001	0,0009
Ca ²⁺	0,0003	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0014	<0,0001	<0,0001
Mg ²⁺	<0,0001	0,0002	0,0011	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,0001
V%	0,0395	0,0032	0,0009	0,0010	0,0030	0,0012	0,0001	0,0005
CTC	0,0011	0,0029	0,0012	<0,0001	0,0013	0,0016	0,0001	0,0005

Em relação ao Al trocável, os resultados foram semelhantes aos observados para a acidez potencial (Figura 2.2). Óxido e carbonato de Mg diminuíram a concentração de Al no solo até 0,10 m, enquanto o sulfato de Mg proporcionou aumento na concentração de Al até 0,40 m de profundidade e o carbonato de 0,10 a

0,40 m aos 3 meses. Aos 15 meses os resultados foram semelhantes aos observados aos 3 meses. O aumento na disponibilidade de Al com a aplicação de sulfato e carbonato de Mg até aproximadamente $6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 2.2), pode ter ocorrido devido ao aumento do Mg na solução do solo provocando o deslocamento do Al das cargas negativas e também pelo aumento da concentração de eletrólitos (ERNANI et al., 2001).

Estudos sobre o Al e as propriedades químicas dos solos de acordo com Abreu Junior, Muraoka e Lovorante (2003) mostraram que o Al foi o cátion trocável predominante em 32% dos 26 solos analisados contendo valores de pH em água menor que 5,6. O aumento da concentração de Al no solo acima de $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, considerado alto (RAIJ et al., 1997), ocasionado principalmente pelo sulfato e carbonato de Mg é preocupante pois, segundo Rodrigues et al. (2001 e 2006) altas concentrações de Al na solução do solo restringem o desenvolvimento das raízes, ainda que o cafeeiro não seja sensível ao Al e o solo na camada superficial corrigido e adubado adequadamente. O mal desenvolvimento das raízes decorrente da toxidez de Al pode prejudicar a absorção de P, Ca e Mg (PAVAN; BINGHAM, 1982). No caso do Ca, o Al pode bloquear os canais de Ca nas raízes inibindo o transporte desse nutriente (HUANG et al., 1992).

Em relação à disponibilidade de fósforo (P) no solo, a aplicação das fontes de Mg foram eficientes para aumentar a disponibilidade deste nutriente (Tabela 2.3). Foram observados valores mais elevados de P, aos 3 meses, até a profundidade de 0,10 m com a aplicação de óxido e oxissulfato de Mg, sendo o óxido a fonte que proporcionou maior disponibilidade de P. Foram observados aumentos até 0,40 m com a aplicação de sulfato e carbonato de Mg (Figura 2.3). Nos teores de P aos 15 meses, o carbonato aumentou a disponibilidade de P até 0,10 m, em comparação ao controle, e na profundidade de 0,20-0,40 m, óxido, sulfato e oxissulfato de Mg proporcionaram aumento deste nutriente.

O mecanismo de adsorção de P é regido, principalmente, por alterações nos valores do pH do solo, que a partir de 4,7 para 5,9 podem reduzir em até 21% dos processos de adsorção deste nutriente nos colóides do solo segundo Sato e Comerford (2005). A elevação do pH do solo aumenta a concentração e atividade dos íons OH^- em solução, promovendo a precipitação de Fe, Al e Mn reduzindo a precipitação de fosfatos de ferro, alumínio e manganês de baixa solubilidade, o que gera maior disponibilidade de P no solo (McBRIDE, 1994), efeito claramente

observado, neste experimento, com a aplicação de óxido e oxissulfato de Mg. No entanto, a influência das fontes sulfato e carbonato de Mg na disponibilidade de fósforo pode ter ocorrido possivelmente devido ao mecanismo de deslocamento ou neutralização de cátions ligados ao fósforo como por exemplo o Ca, Fe ou Al, respectivamente pelo sulfato e carbonato.

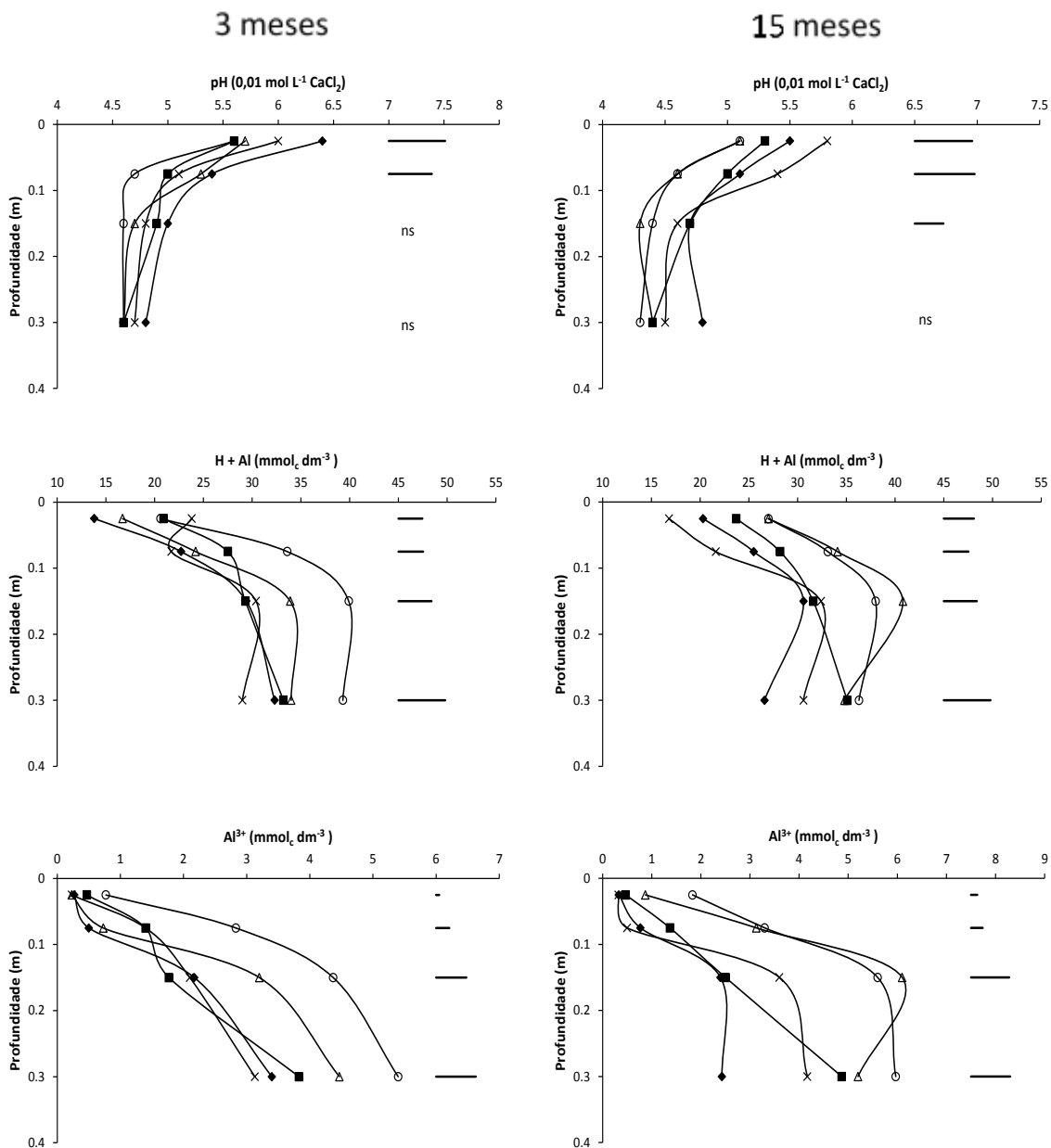


Figura 2.2 - Variação no pH, H+Al e Al^{3+} trocável em profundidade no solo aos 3 e 15 meses após a aplicação superficial das fontes de magnésio. Controle (■), óxido de Mg (◆), oxissulfato de Mg (×), sulfato de Mg (○) e carbonato de Mg (Δ). As barras representam a diferença mínima significativa pelo teste LSD ($P = 0,10$)

A disponibilidade de K no solo diminuiu com a aplicação superficial das fontes de Mg aos 3 meses após a aplicação (Figura 2.3), o oxissulfato e o sulfato de Mg

diminuíram a concentração de K até 0,20 m de profundidade e o óxido e carbonato diminuíram o K na camada de 0-0,05. Aos 15 meses após a aplicação dos tratamentos, observou-se, como consequência da aplicação superficial de óxido de Mg, lixiviação mais intensa de K para as camadas mais profundas do solo, enquanto que o oxissulfato promoveu aumento do K no solo até 0,40 m em comparação ao controle.

Resultados semelhantes foram relatados por Ramos et al. (2013), onde não ocorreu alteração no teor de K^+ no solo, enquanto outros autores mostraram redução do K^+ após aplicação de sulfato de Ca (CUSTÓDIO et al., 2005, NEIS et al., 2010, RAMPIM et al., 2011, SERAFIM et al., 2012). O uso de altas doses de fontes que contenham sulfato pode intensificar o processo de lixiviação de cátions e podem causar desequilíbrio nutricional nas camadas superficiais, no entanto, a mobilidade de $S-SO_4^{2-}$ pode ser variável dependendo da capacidade de troca catiónica e aniônica do solo, que determinam a quantidade de sulfato na solução do solo (CAIRES; JORIS; CHURKA, 2011).

O óxido de Mg promoveu maior disponibilidade de Ca no solo, aos 3 meses, até a profundidade de 0,40 m com excessão da camada de 0,10-0,20 m. No entanto, as outras fontes diminuíram a disponibilidade desse nutriente, sendo que o sulfato promoveu a diminuição até 0,40 m, o oxissulfato de 0,05 até 0,40 m e o carbonato apenas na camada de 0,20-0,40 m (Figura 2.3), tal reação se deve ao fato destas fontes conterem sulfato ou carbonato em sua composição, o que pode promover o carregamento dos cátions para camadas mais profundas do solo. Aos 15 meses, as fontes carbonato, óxido e sulfato também diminuíram a disponibilidade de Ca até 0,20 m.

É importante relacionar que a lixiviação de cátions (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) é resultado da formação de complexos iônicos (KSO_4^- , $CaSO_4^0$ e $MgSO_4^0$), como consequência da dissociação do sulfato de Mg, resultados semelhantes foram encontrados por Rampim et al. (2011) utilizando sulfato de Ca. Assim a menor disponibilidade de Ca pode estar relacionada à formação de pares iônicos inorgânicos com HCO_3^- , OH^- (RHEINHEIMER et al., 2000), Cl^- e SO_4^{2-} (CAIRES et al., 2006), oriundos da própria fonte aplicada, proporcionando o carregamento destes no perfil. De acordo com Serafim et al. (2012), a lixiviação de cátions pelo sulfato pode ocorrer de forma rápida, e em profundidades maiores que 0,50 m segundo Quaggio, Mascarenhas e Bataglia (1982) e Martins et al. (2002).

Todas as fontes de Mg aumentaram o teor de Mg no solo 3 meses após a aplicação superficial (Figura 2.3). As fontes sulfato e oxido de Mg elevaram a concentração desse nutriente até 0,40 m e as fontes oxissulfato e carbonato, só não aumentaram o teor na camada de 0,10-0,20 m. No entanto, aos 15 meses após a aplicação, apenas os tratamentos com oxido e o oxissulfato de Mg permaneceram

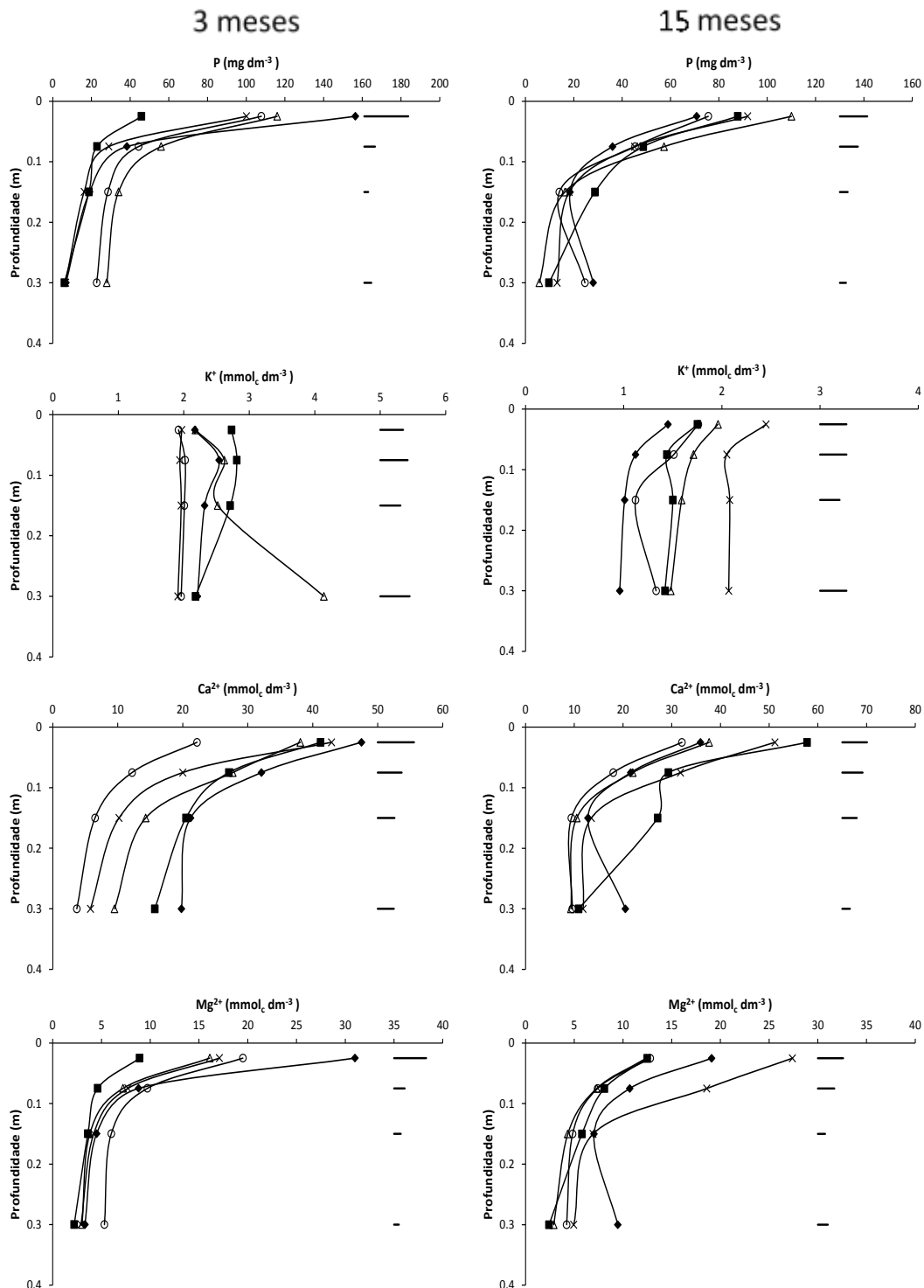


Figura 2.3 - Variação na concentração de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) trocáveis em profundidade no solo aos 3 e 15 meses após a aplicação superficial das fontes de magnésio. Controle (■), óxido de Mg (◆), oxissulfato de Mg (×), sulfato de Mg (○) e carbonato de Mg (Δ). As barras representam a diferença mínima significativa pelo teste LSD (P = 0,10)

com a concentração de Mg maior em comparação ao tratamento controle (Figura 2.3), mostrando que essas fontes promovem liberação gradual de Mg no solo ao longo do tempo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Hardter, Rex e Orlovius (2004) em que, tanto sulfato quanto óxido de Mg aumentaram o teor de Mg no solo, no entanto, o sulfato de Mg promoveu maior teor em comparação ao óxido aos 3 meses após a aplicação. Em relação a aplicação de carbonato de Mg, os resultados foram semelhantes ao observado por Corrêa et al. (2007) avaliando o efeito do carbonato de Ca e Mg em um Latossolo Vermelho. No entanto, Miranda et al. (2005) verificaram, em um Latossolo Vermelho argiloso, efeito na movimentação do Mg apenas na camada de 0-0,05 m, evidenciando que a dinâmica do Mg no solo depende de inúmeros fatores, como a disponibilidade de água.

Os resultados relacionados ao K, Ca e Mg influenciaram os valores de saturação por bases (V%), observadas até 0,40 m (Tabela 2.4, Figura 2.4). Aos 3 meses após a aplicação, o óxido de magnésio aumentou o V% em todas as camadas analisadas com exceção da camada de 0,10-0,20 m. As fontes sulfato, oxissulfato e carbonato de Mg refletiram o mesmo resultado encontrado para o Ca, menores valores de V% em comparação ao controle. Aos 15 meses, também seguindo o mesmo comportamento dos resultados encontrados para a concentração de Mg no solo, o oxissulfato promoveu o maior valor de V% nas camadas de 0,05 a 0,40 m, e o óxido de Mg na camada de 0,10 a 0,40 m em comparação ao controle.

Os aumentos observados para V% (Figura 2.4) podem estar relacionados com o aumento do Mg^{2+} e K^+ no complexo coloidal, como resultado da extrusão de H^+ da superfície dos colóides conforme relatado por Soratto e Cruciol (2008).

A capacidade de troca cationica (CTC) foi influenciada pela aplicação das fontes de Mg, sendo, de modo geral, o sulfato de Mg foi a fonte que proporcionou a menor CTC no solo de 0,05 até 0,40 m, e o óxido a fonte que proporcionou a maior CTC em todas as camadas de solo, com exceção da camada 0,10-0,20 m 3 meses após a aplicação (Figura 2.4). Aos 15 meses, as fontes óxido, carbonato e sulfato de Mg apresentaram menor CTC até 0,20 m em comparação ao controle.

A maior CTC efetiva (Figura 2.4), está relacionada com o aumento do pH e dos teores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} do solo. Esses resultados foram obtidos em consequência da aplicação do óxido de Mg que proporcionou maior valor de pH e maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em comparação as outras fontes avaliadas (Figura 2.3).

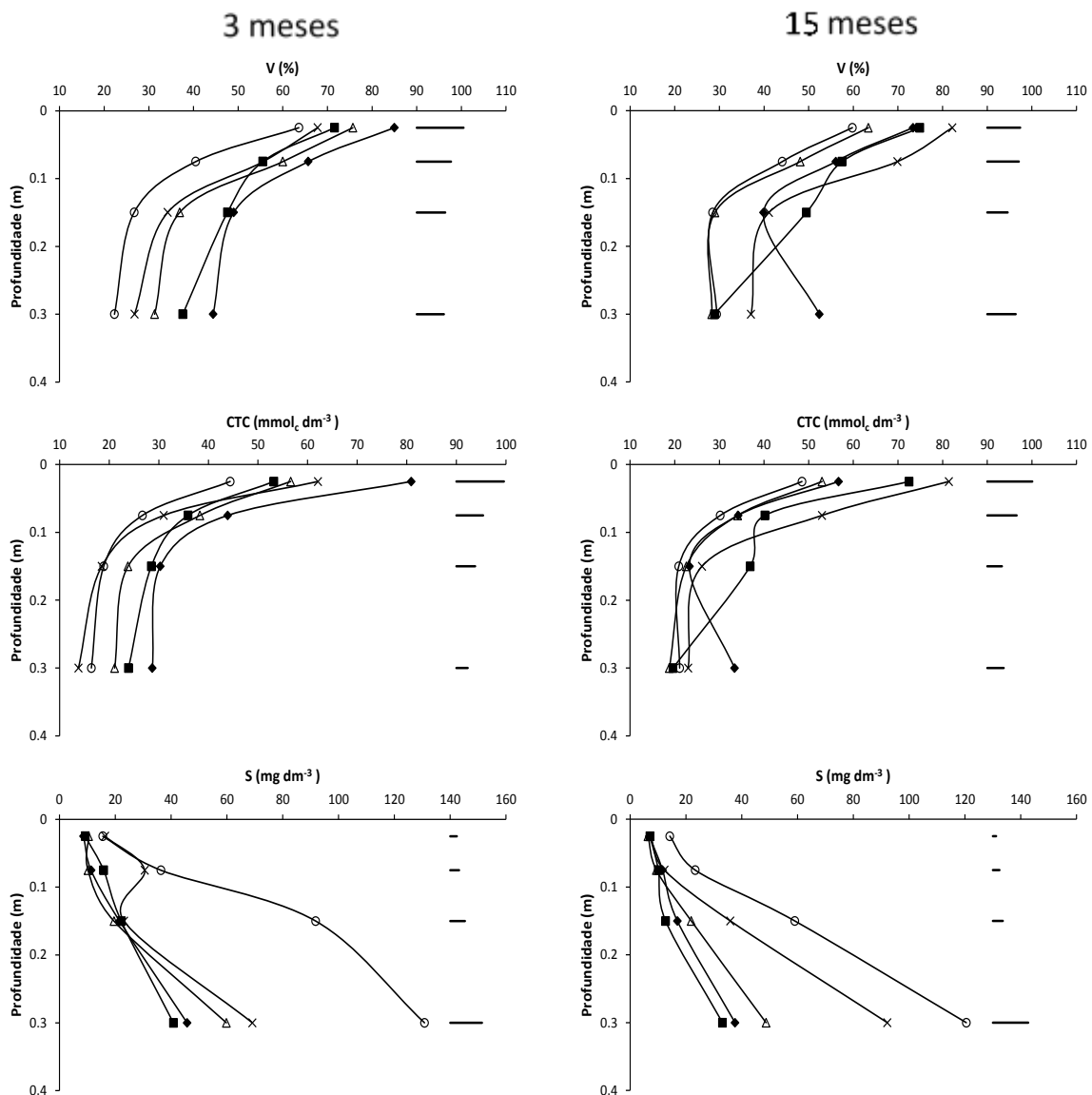


Figura 2.4 - Variação na saturação por bases (V %), capacidade de troca catiônica (CTC) e teores de enxofre (S) em profundidade no solo aos 3 e 15 meses após a aplicação superficial das fontes de magnésio. Controle (■), óxido de Mg (◆), oxissulfato de Mg (×), sulfato de Mg (○) e carbonato de Mg (Δ). As barras representam a diferença mínima significativa pelo teste LSD (P = 0,10)

Os teores de enxofre (S) no solo também foram alterados com os tratamentos (Tabela 2.4). A maior disponibilidade de S foi observada principalmente quando se

aplicou fontes que continham S em sua formulação (Figura 2.4). Como era esperado, o sulfato de Mg foi a fonte que proporcionou a maior disponibilidade de S no solo, aos 3 meses, até 0,40 m de profundidade. O oxissulfato apresentou comportamento semelhante ao sulfato de Mg, com exceção para a camada de 0,10-0,20 m, e o carbonato aumentou a disponibilidade de S na camada de 0,20-0,40 m. Aos 15 meses, foi observado o mesmo comportamento das fontes em comparação aos 3 meses, no entanto o oxissulfato de Mg promoveu diminuição na concentração de S na superfície do solo e aumento em profundidade.

Em profundidade o teor de S aumenta gradualmente, isto ocorre devido aos íons SO_4^{2-} formarem pares iônicos inorgânicos com cátions livres na solução do solo e por terem carga zero são facilmente lixiviados no perfil do solo (CAIRES et al., 2006), em vista de tal comportamento, o gesso (sulfato de Ca) é empregado para corrigir a toxidez por alumínio e elevar os teores de Ca, Mg e K nas camadas mais profundas do solo (CUSTÓDIO et al., 2005, RAMPIM et al., 2011), por isso, tem sido usado em cafezais para garantir que o sistema radicular da planta alcance maiores profundidades (RAMOS et al., 2013). A utilização de fontes como o sulfato e oxissulfato de Mg se fazem vantajosas porque além de fornecerem Mg, oferecem os benefícios do sulfato como condicionador de subsuperfície.

Nutrição do Cafeeiro

A concentração de Ca na folha do cafeeiro foi influenciada pelos tratamentos no primeiro e segundo ano de avaliação (Tabela 2.5). No primeiro ano o sulfato de Mg foi a fonte que proporcionou a maior concentração de Ca na folha, e no segundo ano, foi a única fonte que proporcionou menor concentração foliar desse nutriente em relação as outras fontes (Tabela 2.6). No entanto, todos os tratamentos até mesmo o controle, apresentaram concentrações de Ca dentro da faixa de valores considerada adequada para a cultura segundo Raji et al. (1997).

Os tratamentos também influenciaram a concentração de Mg na folha (Tabela 2.5). As fontes oxissulfato, sulfato e carbonato de Mg proporcionaram maiores concentrações de Mg na folha tanto no primeiro, quanto no segundo ano de avaliação. A fonte óxido de Mg proporcionou maior concentração de Mg na folha apenas no ano de 2014 (Figura 2.6).

O aumento nas concentrações de Mg nas folhas pode ser justificado pelo aumento na disponibilidade de Mg no solo devido a aplicação das fontes de Mg

(Figura 2.6). Aumentos na concentração foliar de Mg também foram apresentados por Orlovius e McHoul (2015) aplicando sulfato e óxido de Mg em batata e beterraba. Caires et al. (1999) trabalhando com a aplicação de carbonato de Ca e Mg e Sulfato de Ca em soja, também observaram correlação positiva entre concentração de Ca e Mg no solo e na folha.

Tabela 2.5 - Concentração de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas do cafeeiro, e produção de grãos em sacas por ha em dois anos de produção após a aplicação das fontes de magnésio

	N	P	K	Ca	Mg	S	Produção
Tratamentos	g kg ⁻¹						(sacas de 60 kg ha ⁻¹)
Controle	28 a *	1,4 a	17 a	15 b	2,7 c	1,8 c	44 c
Oxido de Mg	27 a	1,5 a	15 a	18 a	3,1 b	1,8 bc	51 a
Oxissulfato de Mg	26 a	1,4 a	17 a	17 a	3,6 a	2,0 ab	51 a
Sulfato de Mg	27 a	1,5 a	15 a	17 a	3,7 a	2,1 a	49 ab
Carbonato de Mg	27 a	1,5 a	16 a	17 a	3,2 b	1,9 abc	46 bc
Fosfito de Mg	27 a	1,5 a	16 a	18 a	2,9 bc	1,8 bc	48 abc
Ano de produção							
2013	22 b	1,6 a	17 a	18 a	3,1 a	2,2 a	65 a
2014	31 a	1,4 b	14 b	16 b	3,3 a	1,6 b	28 b
Probabilidade de F							
Blocos	0,0414	0,0378	0,2317	0,9866	0,6672	0,0568	0,8307
Tratamentos (T)	0,7300	0,7176	0,2281	0,0449	0,0002	0,0396	0,1236
Ano (A)	<0,0001	0,0001	<0,0001	0,0380	0,1064	<0,0001	<0,0001
T x A	0,7757	0,7630	0,2829	0,0161	0,0992	0,0089	<0,0001

Médias seguidas por letras diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste LSD ($p \leq 0,10$).

As concentrações de S nas folhas do café foram maiores que o controle para todos os tratamentos com exceção do fosfito de Mg no primeiro ano de avaliação (Tabela 2.6). Em 2014, não houve diferença entre os tratamentos. Na avaliação entre os anos, o primeiro ano apresentou maior concentração foliar de S. Nos dois anos avaliados, a concentração foliar de S estava dentro da faixa considerada adequada para a cultura, $> 1,5 \text{ g kg}^{-1}$, descrito na Tabela 2.7, (RAIJ et al., 1997).

Com relação a produtividade de grãos, o efeito significativo na produção entre os anos de avaliação (Tabela 2.5), se deve ao sistema de produção do cafeeiro a pleno sol, ou seja, safras de altas produtividades alternadas com safras baixas. As reservas nutricionais do cafeeiro são carregadas de forma prioritária para a frutificação, ocorrendo desbalanço na razão folha/fruto e, em consequência, competição entre o crescimento reprodutivo e o vegetativo, assim o crescimento dos ramos é prejudicado podendo ocorrer a seca de ramos e morte de raízes por isso a safra seguinte é reduzida (MATIELLO et al., 2010), também Malavolta et al. (2002) comentam que a demanda de nutrientes pelo cafeeiro não varia em virtude da produção, pois quando a frutificação é baixa, há crescimento de ramos

plagiotrópicos, formação de folhas e ramos novos substituindo o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes. Em vista disso, não se pode dizer que a diferença de produtividade entre os anos encontrada neste experimento se deva aos tratamentos.

As fontes de Mg aplicadas tanto via solo quanto foliar, embora tenham aumentado o teor de Mg no solo e na planta foi possível observar, no primeiro ano, apenas efeito positivo não significativo, do sulfato de Mg, com a produção de uma saca a mais de café por hectare quando comparado ao tratamento controle (Tabela 2.6). No entanto, no segundo ano apenas o carbonato de Mg não foi diferente do tratamento controle. Óxido, oxissulfato, fosfito e sulfato de Mg aumentaram a produtividade em 20, 20, 9 e 8 sacas de 60 kg ha⁻¹ de café beneficiado, respectivamente (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Concentração de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas do cafeeiro, e produção de grãos em função do ano de produção e fontes de magnésio

Tratamentos	Controle	Oxido de Mg	Oxissulfato de Mg	Sulfato de Mg	Carbonato de Mg	Fosfito de Mg
Ca				g kg ⁻¹		
2013	16 Ba [†]	18 ABa	17 Ba	20 Aa	18 ABa	17 Ba
2014	14 Ba	17 Aa	17 Aa	14 Bb	17 Aa	19 Aa
Mg				g kg ⁻¹		
2013	2,5 Ca	2,7 BCb	3,8 Aa	3,8 Aa	3,1 Ba	2,8 BCa
2014	2,8 Ca	3,5 Aa	3,4 ABa	3,7 Aa	3,3 ABa	3,0 BCa
S				g kg ⁻¹		
2013	1,9 Ca	2,2 Ba	2,3 Ba	2,7 Aa	2,3 Ba	2,1 BCa
2014	1,7 Aa	1,5 Ab	1,7 Ab	1,5 Ab	1,6 Ab	1,5 Ab
Produtividade				sacas de 60 kg ha ⁻¹		
2013	68 Aa	59 Ca	61 BCa	69 Aa	66 ABCa	67 ABa
2014	17 Cb	39 Ab	37 Ab	25 Bb	23 BCb	26 Bb

[†]Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes na linha e médias seguidas por letras minúsculas diferentes na coluna diferem estatisticamente pelo teste LSD (p≤0,10).

Tabela 2.7 - Padrões para avaliação de resultado de análise foliar¹ do cafeeiro

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S
Adequado	30 - 35	1,2 - 1,5	18 - 23	10 - 15	3,5 - 5,0	1,5 - 2,0
Limiar	30	1,2	18	10	3,5	1,5
Deficiente	< 25	< 0,5	< 12	< 5	< 2,0	< 0,5

¹ 3º e 4º pares de folhas de ramos produtivos amostrados no início do verão (dez/jan). Raij et al. (1997).

Incrementos de produtividade com aplicação de óxido e sulfato de Mg também foram observados para milho (HARDTER; REX; ORLOVIUS, 2004), batata e beterraba (ORLOVIUS; McHOUL, 2015). Wang et al. (2015) avaliando áreas de produção de café na África observaram aumentos na produção de café arábica em função do aumento no teor de Mg no solo, e por cálculo de aproximação

encontraram produção máxima de café com teor de Mg no solo em torno de $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo que para o Brasil o teor mínimo de Mg no solo requerido para o café é de $5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (MATIELLO et al., 2002), no entanto, no presente trabalho maiores produtividades foram alcançadas com teores acima de $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. É importante também considerar que o maior rendimento proporcionado pelo óxido de Mg talvez, não foi ocasionado apenas pelo Mg mas também por ter proporcionado maior valor de pH (Figura 2.2) e maiores disponibilidades de Ca e P no solo (Figura 2.3) além do Mg.

Produtividade relativa e índice de eficiência agrônômica das fontes de Mg

A produtividade relativa (PR) do tratamento sulfato de Mg, no ano de 2013, obteve o maior valor entre os tratamentos, ou seja, a aplicação dessa fonte proporcionou aumento na produtividade de café comparado as outras fontes, no entanto esse incremento foi de apenas 2% comparado ao controle (Tabela 2.8).

No ano de 2014 todas as fontes proporcionaram incremento de produtividade no café, sendo o óxido de Mg a fonte que proporcionou maior PR, correspondendo a um aumento de 133% em comparação ao controle (Tabela 2.8).

Tabela 2.8 - Aumento da produtividade (AP), produtividade relativa (PR) de grãos de café beneficiado em função das fontes de Mg, e índice de eficiência agrônômica (IEA) das fontes, comparadas ao carbonato de Mg, nos dois anos de avaliação 2013 e 2014

Tratamentos	2013			2014		
	AP (sacas 60 kg ha^{-1}) ⁽¹⁾	PR (%) ⁽²⁾	IEA (%)	AP (sacas 60 kg ha^{-1})	PR (%)	IEA (%)
Controle	---	100	---	---	100	---
Óxido de Mg	-8	87	*	22	233	382
Oxissulfato de Mg	-7	90	*	20	220	345
Sulfato de Mg	1	102	*	8	149	142
Carbonato de Mg	-2	97	*	6	135	100
Fosfito de Mg	-1	99	*	9	154	156

⁽¹⁾ Aumento de produtividade em relação à média de produtividade no tratamento controle. ⁽²⁾ Produtividade relativa obtida em relação à média do tratamento controle (controle = 100%). *valor não possível de ser calculado.

Em relação ao índice de eficiência agrônômica (IEA) das fontes aplicadas em comparação a fonte carbonato de Mg, considerando o calcário (carbonato de Ca e Mg) a fonte de Mg comumente utilizada pelos produtores de café, no ano de 2013 não foi possível obter tais valores, pois tanto o carbonato de Mg quando as outras fontes, produziram menos que o controle, ou seja, as fontes não foram eficientes

para aumentar a produtividade do café, no primeiro ano, e até diminuíram a produtividade (Tabela 2.8).

O fato de o sulfato de Mg ter sido a única fonte que proporcionou incremento não significativo na produtividade do café no primeiro ano, é por esta fonte ter a maior solubilidade em água entre as fontes utilizadas (Tabela 2.2), Santos, Sousa e Korndorfer (2012) trabalhando com IEA de fertilizantes fosfatados, a eficiência dos fosfatos industriais solúveis em água é maior a curto prazo, enquanto a eficiência dos fosfatos naturais aumenta com o tempo decorrido da sua aplicação ao solo. O mesmo comportamento pode ser observado para as fontes de Mg utilizadas nesse experimento.

Analisando o IEA em 2014, observou-se evolução na eficiência agronômica das fontes (Tabela 2.8). Expressivo aumento foi observado quando se aplicou óxido e oxissulfato de Mg que apresentaram respectivamente 282 % e 245 % de IEA maior que o carbonato de Mg. Fontes com alta solubilidade em ácido cítrico e citrato neutro de amônio, apresentam maior eficiência agronômica (GOEDERT; LOBATO, 1984) e segundo análises para determinar a garantia destes fertilizantes, o óxido e o oxissulfato de Mg foram as fontes com maior porcentagem de solubilidade em HCl e CNA+H₂O (Tabela 2.2).

De acordo com Goedert e Lobato (1984), a característica mais importante de uma fonte é a sua eficiência agronômica, a qual expressa sua capacidade de promover o maior acréscimo de rendimento por unidade de nutriente aplicado. Todas as fontes, neste experimento, em 2014 proporcionaram maior IEA em comparação ao carbonato de Mg. Esses resultados indicam que estas fontes podem ser utilizadas como fonte de Mg para a cultura do cafeeiro com resultados semelhantes ou superiores ao calcário.

É praticamente inexistente literatura com dados de IEA para fontes de Mg, no entanto comparações podem ser feitas com fontes de outros nutrientes. De acordo com Weber, Bolsanello e Azeredo (1993), estudando a eficiência de fosfatos solúveis, naturais e naturais parcialmente acidulados durante 5 anos, verificaram que os rendimentos foram proporcionais às quantidades de fósforo solúvel contida na fonte estudada, o mesmo foi observado neste experimento, em que as fontes que proporcionaram os maiores IEA (óxido e oxissulfato de Mg) (Tabela 2.8), foram as que continham maior teor de Mg total (Tabela 2.2).

2.5 Conclusões

Todas as fontes aumentaram a concentração de Mg no solo. O sulfato de Mg é a fonte que proporcionou maior concentração em profundidade, e os fertilizantes óxido e oxissulfato de Mg as que proporcionaram maior concentração de Mg no solo em superfície até os 15 meses.

Oxissulfato e sulfato de Mg foram as fontes com maior incremento na concentração de Mg foliar na média dos dois anos.

Na segunda colheita ocorrida 17 meses após a adubação magnesiana, as fontes que proporcionam maior aumento de produtividade no café foram óxido, oxissulfato e fosfito de Mg, em 23, 21 e 10 sacas de 60 kg ha⁻¹ respectivamente.

O IEA das fontes testadas mostraram que todas as fontes podem ser utilizadas como fonte de Mg para a cultura do café. As fontes óxido e oxissulfato de Mg foram as mais eficientes agronomicamente em relação ao carbonato de Mg.

Estudos são necessários para se determinar a melhor dose e a época mais adequada para se aplicar o Mg na cultura do café.

Referências

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 337-343, 2003.

AZEVEDO, W.R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; OLIVEIRA JUNIOR, A.C. Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 6, p. 995-1004, 2004.

BORGES, E.N.; LOMBARDI NETO, F.; COSTA, L.M.; CORRÊA, G.F.; BORGES, E.V.S. Alterações nos componentes da acidez do solo promovidas em camada subsuperficial compactada pela aplicação superficial de gesso. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 45, n. 257, p. 55-64, 1998.

CAIRES, E.F.; CHURKA, S.; GARBUIO, F.J.; FERRARI, R.A.; MORGANO, M.A. Soybean yield and quality a function of lime and gypsum applications. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 63, n. 4, p. 370-379, 2006.

CAIRES, E.F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E.F.; JORIS, H.A.W.; CHURKA, S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil. **Soil Use and Management**, Malden, v. 27, n. 1, p. 45-53, 2011.

CORRÊA, J.C.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MARCELINO, R.; MAUAD, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 9, p. 1307-1317, 2007.

CRUSCIOL, C.A.C.; GARCIA, R.A.; CASTRO, G.S.A.; ROSOLEM, C.A. Nitrate role in basic cation leaching under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1975-1984, 2011.

CUSTÓDIO, D.P.; OLIVEIRA, I.P.; COSTA, K.A; SANTOS, R.S.M.; FARIA, C.D. Avaliação do gesso no desenvolvimento e produção do capim tanzânia. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 6, n. 1, p. 27-34, 2005.

DE MARIA, I.C.; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO, O.M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 87-98, 1993.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SPI, 2006. 306 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas.** Londrina: Editora Planta, 2006. 403 p.

FAZUOLI, L.C. INFORMAÇÕES: LUIZ CARLOS FAZUOLI, CENTRO DE CAFÉ E PLANTAS TROPICAIS. Disponível em:
<[HTTP://WWW.IAC.SP.GOV.BR/PUBLICACOES/AGRONOMICO/CAFE.PHP](http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/agronomico/caffe.php)>.
Acesso em: 25 nov. 2015.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FOLONI, J.S.S.; SANTOS, D.H.; CRESTE, J.E.; CÂMARA, M.; TIRITAN, C.S. Produção de matéria seca do milho e fertilidade do solo em função da gessagem em excesso. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 4, n. 2, p. 42-51, 2008.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

HARDTER, R; REX, M; ORLOVIUS, K. Effects of different Mg fertilizer sources on the magnesium availability in soils. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 70, n. 3, p. 249-259, 2004.

HUANG, J.W.; SHAFF, J.E.; GRUNES, D.L.; KOCHIAN, L.V. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. **Plant Physiology**, Rockville, v. 98, n. 1, p. 230-237, 1992.

LEITE, M.J.H.; SANTOS, R.V.; GOMES, A.D.V.; VITAL, A.F.M. Aplicação de corretivos e crescimento de oleaginosas em solos salinizados do semiárido. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 1, p. 87-95, 2012.

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

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J.L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C.P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J.S.M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores o cafeeiro.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1997. 319 p.

MARTINS, O.C.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; RIBEIRO, A.C.; BARROS, N.F. Resposta a aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos. I. Alterações químicas no perfil do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 49, n. 282, p. 123-135, 2002.

MATIELLO, J. B. Fatores que afetam a produtividade do café no Brasil. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação brasileira para a pesquisa da potassa e do fosfato, 1986. 447 p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, Fundação PROCAFÉ, 2002. 438 p.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de Café no Brasil: Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, Fundação PROCAFÉ, 2010. 542 p.

McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. 406 p.

MIRANDA, L.N. de; MIRANDA, J.C.L. de; REIN, T.A.; GOMES, A.C. Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 40, n. 6, p. 563-572, 2005.

NEIS, L.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PINTO, F.A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 2, p. 409-416, 2010.

OLIVEIRA, E.L.; PAVAN, M.A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 38, n. 1-2, p. 47-57, 1996.

ORLOVIUS, K.; McHOUL, J. Effect of two magnesium fertilizers on leaf magnesium concentration, yield, and quality of potato and sugar beet. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v. 38, n. 13, p. 2044-2054, 2015.

PAVAN, M.A.; BINGHAM, F.T. Níveis de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1293-1302, 1982.

QUAGGIO, J.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLIA, O.C. Resposta da soja à aplicação de doses crescentes de calcário em Latossolo Roxo distrófico de cerrado. II – Efeito residual. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 6, n. 1, p. 113-118, 1982.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: Internacional Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284 p.

RAIJ, B. van; FERNANDES, D.R.; OLIVEIRA, E.G.; MALAVOLTA, E. Café. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1997. p. 97-101. (Boletim Técnico, 100).

RAMOS, B.Z.; FLORIANO, J.P.V.; LIMA, J.M.; DE SERAFIM, M.E.; BASTOS, A.R.R.; GUIMARÃES, P.T.G.; GUIMARÃES, G. Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio magnésio potássio e pH na solução de um Latossolo

Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1018-1026, 2013.

RAMPIM, R.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos do solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p.1687-1698, 2011.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.C.; GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 797-805, 2000.

RODRIGUES, L.A.; MARTINEZ, H.E.P.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, S.M. de. Nutritional response of Catuai and Icató coffee plants to soil subsurface liming. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 985-995, 2006.

RODRIGUES, L.A.; MARTINEZ, H.E.P.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; MENDONÇA, S.M. Growth response of coffee tree shoots and roots to subsurface liming. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, n. 2, p. 207-214, 2001.

SANTOS, G.A.; SOUSA, R.T.X. de; KORNDORFER, G.H. Profitability depending on the use and agronomic efficiency of phosphate fertilizer applied in pre-planting of sugar cane. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 28, n. 6, p. 846-851, 2012.

SATO, S.; COMERFORD, N.B. Influência do pH do solo na adsorção e dessorção de fósforo num ultisol úmido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p. 685-694, 2005.

SERAFIM, M.E.; LIMA, J.M.; LIMA, V.M.P.; ZEVIANI, W.M.; PESSONI, P.T. Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 30-40, 2012.

SILVA, J.J.R.F.; WILLIAMS, R.J.P. **The biological Chemistry of the Elements: The Inorganic Chemistry of Life.** Oxford: Clarendon Press, 1991. 572 p.

SILVEIRA, K.R.; RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B.; HECK, R.J.; SILVEIRA, R.R. Gypsum-saturated water to reclaim aluvial saline sodic and sodic soil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 1, p. 69-76, 2008.

SORATTO, R.P.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém implantado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 675-688, 2008.

VITTI, G.C. **Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta.** Jaboticabal: Funep, 1989. 37 p.

VELOSO, C.A.C.; BORGES, A.L.; MUNIZ, A.S.; VEIGAS, I.A.J.M. Efeito de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 49, n. 1, p. 123-128, 1992.

WANG, N.; JASSOGNE, L.; ASTEN, P.J.A. van; MUKASA, D.; WANYAMA, I.; KAGEZI, G.; GILLER, K.E. Evaluating coffee yield gaps and important biotic, abiotic, and management factors limiting coffee production in Uganda. **European Journal of Agronomy**, Wageningen, v. 63, n. 1, p. 1-11, 2015.

WEBER, H.; BOLSANELLO, J.; AZEREDO, D. F. Doses de fontes de fósforo em cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., 1993. Águas de São Pedro. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1993. p. 70-75.

3 COMPARAÇÃO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE K, Ca e Mg NO SOLO SECO EM ESTUFA E COM A UMIDADE DE CAMPO EXTRAÍDOS COM MEHLICH-3 E ACETATO DE AMÔNIO

Resumo

A secagem de amostras de solo tem sido um passo padrão no processamento do solo, e é conhecido por influenciar a quantidade de K extraíveis na análise de solos. Os objetivos com esta pesquisa foram avaliar as correlações entre as concentrações de nutrientes do solo seco em estufa e úmido de campo extraídos com Mehlich-3 e 1 mol L⁻¹ NH₄OAc em solos de textura argilosa (Argissolo). O K, Ca e Mg extraídos com Mehlich-3 e NH₄OAc foram altamente correlacionados ($r^2 > 0,95$) tanto para solo úmido de campo quanto para o seco em estufa. A relação entre as concentrações de K no solo seco em estufa e úmido de campo para Mehlich-3 e NH₄OAc foram semelhantes e altamente correlacionados ($r^2 = 0,92$). Concentrações de K no solo com a úmido de campo foram menores do que as concentrações de K no solo seco em estufa até um ponto de equilíbrio alcançado em 136 mg kg⁻¹ de K para NH₄OAc e 158 mg kg⁻¹ de K para Mehlich-3 após o qual as concentrações de K no solo seco em estufa foram menores do que as concentrações de K no solo úmido de campo. A secagem do solo em estufa teve efeito mínimo sobre as concentrações de Ca e reduziu a concentração de Mg tanto para Mehlich-3 quanto para NH₄OAc. Entre os nutrientes extraíveis com Mehlich-3 que são usados para tomar decisões de adubação, a concentração de K foi mais afetada pela secagem em estufa e exige pesquisa de campo para correlacionar e calibrar novas recomendações agrônômicas.

Palavras-chave: Extratores de solo; Análise de solo; Efeito da secagem no solo; Análise de solo úmido; Análises de solo seco; Umidade do solo; Potássio; Cálcio; Magnésio

Abstract

Drying soil samples has been a standard step in soil processing but is known to influence the amount of soil-test extractable K. The objectives were to evaluate the correlation between field-moist and oven-dry soil nutrient concentrations extracted with Mehlich-3 and 1 mol L⁻¹ NH₄OAc and how Mehlich-3 extractable nutrient concentrations change from oven-drying using loamy-textured soils (Alfisols). The Mehlich-3 and NH₄OAc extractable K, Ca, and Mg concentrations were highly correlated ($r^2 > 0.95$) for both field-moist and oven-dry soil. The relationship between oven-dry and field-moist K concentrations for Mehlich-3 and NH₄OAc was very similar and highly correlated ($r^2 = 0.92$). Field-moist soil K concentrations were lower than oven-dry soil K concentrations until an equilibrium point was reached at 136 mg K kg⁻¹ for NH₄OAc and 158 mg K kg⁻¹ for Mehlich-3 after which oven-dry soil K concentrations were lower than field-moist soil K concentrations. Oven drying had minimal effect on Ca concentrations and decreased Mg concentrations for both Mehlich-3 and NH₄OAc. Among the Mehlich-3 extractable nutrients that are used to make fertilization decisions, K concentration was most affected by oven-drying and requires field research to correlate and calibrate new agronomic recommendations.

Keywords: Soil extractors; Soil-test; Soil drying effect; Moist soil test; Dry soil test; Soil moisture; Potassium; Calcium; Magnesium

3.1 Introdução

A secagem das amostras de solo em estufa é etapa padrão da maioria dos procedimentos de análise de solo utilizados para avaliar atributos químicos do solo, incluindo K, Ca e Mg trocáveis. A secagem permite que a amostra de solo seja bem homogeneizada e a umidade padronizada para expressar os resultados da análise de solo. A influência da secagem do solo na análise de K é bem estudada, e parece ser fator que impede a precisão de recomendações baseadas na análise de solo. Barbagelata e Mallarino (2013) relataram que a extração de K no solo úmido previu a capacidade de resposta à adubação do milho (*Zea mays* L.) e da soja [*Glycine max* (L.) Merr.] com mais precisão do que a extração de K do solo seco e destacou a necessidade de se correlacionar solo úmido e pesquisa de calibração com outras culturas e tipos de solos. A análise de solo úmido representa mudança substancial para métodos de processamento do solo atuais e os laboratórios de análise de solo precisam de evidências a partir de grande variedade de solos e métodos de análise para desenvolver recomendações e comprometer-se a analisar solos úmidos.

Pesquisas publicadas mostraram que solo seco ao ar ou em estufa aumenta a concentração de K extraível por acetato de amônio (NH_4OAc) em solos com baixas concentrações de K disponíveis, e que a concentração de K diminui em solos com altas concentrações de K disponíveis, e não tem efeito algum em solos com concentração média (LUEBS; STANFORD; SCOTT, 1956; DOWDY; HUTCHESON, 1963; HABY et al, 1988; BARBAGELATA; MALLARINO, 2013). As concentrações de K do solo extraíveis por NH_4OAc de 56 mg kg^{-1} (MATTHEWS; SHERRELL, 1960) a 76 mg kg^{-1} (DOWDY; HUTCHESON, 1963) a 500 mg kg^{-1} (HABY et al., 1988) têm sido relatados como a concentração de equilíbrio, onde a secagem não tem efeito líquido sobre o K extraível por NH_4OAc . A grande variedade entre esses valores propostos sugere que o ponto de equilíbrio varia entre os solos e podem não ser de uso prático para melhorar a precisão das recomendações feitas a partir de concentrações de K extraível do solo seco (MATTHEWS; SHERRELL, 1960).

O efeito da umidade do solo sobre a quantidade de K extraído por NH_4OAc tem sido relatada tanto a campo quanto em laboratório (LUEBS; STANFORD;

SCOTT, 1956; GRAVA; SPALDING; CALDWELL, 1961; BARBAGELATA; MALLARINO, 2013). A relação entre a proporção (ou a diferença) entre K extraído do solo seco e úmido e da umidade do solo foi linear (Haby et al., 1988), ou não linear (LUEBS; STANFORD; SCOTT, 1956; BARBAGELATA, 2006; BARBAGELATA; MALLARINO, 2013). Para as relações não lineares, a umidade do solo em que o K começa a aumentar sob secagem parece variar entre solos e varia de 50 a 100 g de H₂O kg⁻¹, com a maior alteração ocorrendo quando a umidade é <50 g H₂O kg⁻¹ (LUEBS; STANFORD; SCOTT, 1956). O aumento do K extraível após a secagem é pouco irreversível, pois o K extraível por NH₄OAc tende a permanecer elevado em solos secos que são reumedecidos e incubados em laboratório (LUEBS; STANFORD; SCOTT, 1956; HABY et al., 1988). Scott e Smith (1968) propuseram que a liberação de potássio sob secagem foi causada pela quebra e separação de algumas das camadas de silicato de K empobrecido, e pontas de partículas de mica intemperizadas.

O conhecimento sobre a influência da umidade do solo sobre as concentrações de K extraível tem sido completamente caracterizado usando 1 mol L⁻¹ de NH₄OAc e baseia-se em grande parte em Chernossolos. Muitos laboratórios usam atualmente um único extrator como o Mehlich-3 para determinar os índices de disponibilidade de vários nutrientes que informam sobre como a secagem do solo influencia as concentrações de outros nutrientes e extratores de interesse. Nenhuma informação além da relatada por Pote et al. (1999) para P, pode ser encontrada sobre como a secagem do solo em estufa influencia nutrientes geralmente listados nos relatórios de análise de solo extraídos pelo método Mehlich-3. Outros nutrientes também são afetados por secagem do solo, mas o efeito é geralmente menor do que para o K (LEGGETT; ARGYLE, 1983; RECHCIGL; PAYNE; SANCHEZ, 1992).

Os objetivos com esta pesquisa foram: 1) verificar o efeito da secagem do solo na concentração de K com 1 mol L⁻¹ de NH₄OAc utilizando solos de textura argilosa (principalmente Argissolos) do Arkansas/EUA, 2) examinar as relações entre nutrientes no solo úmido e seco extraídos pelos métodos Mehlich-3 e NH₄OAc, e 3) determinar como as concentrações dos nutrientes do solo (K, Ca e Mg) extraídos com solução Mehlich-3 são influenciados pela secagem em estufa. Com base em informações da literatura: 1) o efeito da secagem do solo no K extraível com Mehlich-3 e 1 mol L⁻¹ NH₄OAc seria semelhante, 2) outros nutrientes, como o Ca e Mg, além do K seriam também afetados por secagem do solo, 3) secagem de solo

em estufa poderá aumentar as concentrações de K extraível em solos com baixo teor de K e diminuir as concentrações de K extraível em solos com alto teor de K, e 4) os nutrientes extraídos do solo seco em estufa ou úmido de campo com os extratores Mehlich-3 e NH_4OAc são altamente correlacionáveis.

3.2 Material e métodos

Amostras de solo úmido de campo (35 amostras) foram coletadas no outono de 2014, representando diferentes tipos de solo, níveis de fertilidade em K, e produção agrícola. Cada amostra de solo úmido de campo foi composta de várias amostras simples coletadas na profundidade de 0-0,10 m, para formar uma amostra composta, que foi armazenada em saco plástico grande lacrado. Cada amostra composta continha pelo menos 2 kg de solo úmido de campo e foi armazenada a 5°C após a coleta. A série do solo e classificação de cada amostra composta foi identificado usando o aplicativo iPhone SoilWeb (BEAUDETTE; O'GEEN, 2010) e é apresentado na Tabela 3.1.

Cada amostra composta foi misturada manualmente dentro de uma bacia plástica limpa, peneirada em peneira de 5 mm, e, em seguida, passadas através de uma peneira de 2 mm, como recomendado pelo Gelderman e Mallarino (2012). Uma subamostra de 300 g de solo úmido de campo peneirado foi colocada numa caixa de solo para secar em estufa a 65°C durante 3 dias, após a amostra foi moída em um moinho de solo (Dynacrush soil crusher, Custom Laboratory, Orange City, FL), passada novamente através de uma peneira de 2 mm, e armazenado à temperatura ambiente (18-23°C).

A umidade do solo foi determinada em duplicata em uma subamostras de 5 g do solo peneirado (KALRA; MAYNARD, 1991) e o restante do solo úmido, peneirado foi colocado num saco de plástico selado e armazenado a 5°C. Em cada amostra de solo seco foram caracterizadas as propriedades físicas e químicas (Tabela 3.1), incluindo o pH do solo (relação 1:1, peso do solo: volume de água), matéria orgânica do solo (MOS) por perda de peso por ignição (COMBS; NATHAN, 2012), e a textura do solo pelo método do hidrômetro (GAVLAK et al., 2003).

Os nutrientes foram extraídos a partir do solo seco em estufa e com úmido de campo usando os métodos de extração com solução Mehlich-3 ((0,2 N CH_3COOH (ácido acético), 0,25 N NH_4NO_3 (nitrato de amônio), 0,015 N NH_4F (fluoreto de

amônio), 0,013 N HNO₃ (ácido nítrico), 0,001 M EDTA (etileno diamina tetra acético)) (FRANK; BEEGLE; DENNING, 2012) e 1 mol de L⁻¹ de NH₄OAc (WARNCKE; BROWN, 2012). O equivalente a 2 g de solo seco em estufa foi pesado e 20 mL de soluções de extração Mehlich-3 ou NH₄OAc foram adicionados. Subamostras em triplicata de cada solo foram extraídas e analisadas por meio de espectroscopia de emissão atômica com plasma acoplado (Spectro Arcos 160, Kleve, Alemanha). Os extratos NH₄OAc e Mehlich-3, foram analisados para K, Ca e Mg.

As concentrações médias de nutrientes extraídos das três subamostras foram calculadas para cada um dos 35 solos secos em estufa e úmidos de campo. A regressão linear foi usada para examinar a relação entre 1) concentrações de cátions (K, Ca e Mg) seco em estufa e úmido de campo para cada extrator, 2) concentrações de cátions (K, Ca e Mg) do solo seco em estufa entre extratores, e 3) concentrações de cátions (K, Ca e Mg) do solo úmido de campo entre extratores. Análises comparando a média das concentrações de nutrientes do solo seco em estufa e úmido de campo usou a concentração de nutrientes do solo úmido de campo como a variável independente e as comparações usando o extrator 1 mol L⁻¹ NH₄OAc também foi usado como variável independente.

Análises estatísticas

Todas as análises de regressão foram realizadas utilizando o procedimento REG do SAS v9.4 (SAS Inst. Inc., Cary, NC). E os coeficientes de inclinação da reta e intercepção foram considerados significativos quando $p < 0,05$.

Tabela 3.1 - Propriedades químicas dos solos e informações históricas do local

Série dos solos	Cultura anterior	Classificação dos solos (Sistema Americano)	pH	MOS*	Argila Silte		Umidade de campo	
					g kg ⁻¹			
1	Calhoun	Milho	Fine-silty, mixed, active, thermic, Typic Glossaqualfs	8.2	21	176	785	234
2	Crowley	Milho	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	6.6	22	200	708	207
3	Convent	Milho	Coarse-silty, mixed, superactive, nonacid, thermic, Fluvaquentic Endoaquepts	7.1	16	239	670	201
4	Calloway	Milho	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aquic Fraglossudalfs	7.2	16	161	746	202
5	Falaya	Milho	Coarse-silty, mixed, active, acid, thermic, Aeric Fluvaquents	7.2	19	175	606	191
6	Coushatta	Milho	Fine-silty, mixed, superactive, thermic, Fluventic Eutrudepts	7.1	18	211	378	183
7	Loring	AC**	Fine-silty, mixed, active, thermic, Oxyaquic Fragiudalfs	6.3	40	186	684	269

(continua)

Tabela 3.1 - Propriedades químicas dos solos e informações históricas do local

Série dos solos	Cultura anterior	Classificação dos solos (Sistema Americano)	pH	MOS*	(conclusão)		Umidade de campo	
					Argila	Silte		
					g kg ⁻¹			
8	Convent	AC	Coarse-silty, mixed, superactive, nonacid, thermic, Fluvaquentic Endoaquepts	6.0	34	83	772	226
9	Calloway	Arroz	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aquic Fraglossudalfs	7.8	19	185	761	290
10	Calhoun	Arroz	Fine-silty, mixed, active, thermic, Typic Glossaqualfs	8.2	24	187	759	271
11	Calhoun	Arroz	Fine-silty, mixed, active, thermic, Typic Glossaqualfs	8.3	23	190	746	275
12	Calhoun	Arroz	Fine-silty, mixed, active, thermic, Typic Glossaqualfs	8.2	23	188	759	279
13	Calloway	Arroz	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aquic Fraglossudalfs	7.6	19	175	748	284
14	Dewitt	Arroz	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	6.0	19	187	695	222
15	Dewitt	Arroz	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	6.1	20	200	693	223
16	Dewitt	Arroz	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	5.2	18	163	688	219
17	Desha	Arroz	Very-fine, smectitic, thermic, Vertic Hapludolls	7.5	19	277	559	232
18	Dewitt	Soja	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	5.4	19	172	684	180
19	Calhoun	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Typic Glossaqualfs	8.3	24	172	774	267
20	Calloway	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aquic Fraglossudalfs	7.6	19	187	736	261
21	Loring	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Oxyaquic Fragiudalfs	6.6	19	227	708	226
22	Loring	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Oxyaquic Fragiudalfs	6.6	21	175	754	233
23	Calloway	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aquic Fraglossudalfs	7.7	24	163	753	248
24	Dewitt	Soja	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	5.5	16	175	682	223
25	Dewitt	Soja	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	5.3	20	174	707	232
26	Dewitt	Soja	Fine, smectitic, thermic, Typic Albaqualfs	5.8	20	188	682	220
27	Zachary	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Typic Albaqualfs	5.7	15	251	647	188
28	Loring	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Oxyaquic Fragiudalfs	6.4	11	48	454	123
29	Hebert	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aeric Epiaqualfs	7.5	25	175	519	214
30	Sharkey	Soja	Very-fine, smectitic, thermic Chromic, Epiaquerts	6.9	16	136	550	206
31	McGehee	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aeric Epiaqualfs	6.6	19	124	689	220
32	Rilla	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Typic Hapludalfs	6.3	14	99	654	202
33	Baxter	Pousio	Fine, mixed, semiactive, mesic, Typic Paleudalfs	7.0	12	124	491	121
34	Calloway	Soja	Fine-silty, mixed, active, thermic, Aquic Fraglossudalfs	6.7	28	187	732	226
35	Henry	AC	Coarse-silty, mixed, active, thermic, Typic Fragiaqualfs	7.5	22	175	746	243

*MOS = matéria orgânica do solo; **AC = área de conservação

3.3 Resultados e Discussão

Solos de textura argilosa foram examinados neste experimento porque eles normalmente exigem adubação para manter a fertilidade em K e maximizar o rendimento das culturas em Arkansas/EUA. A textura do solo foi identificada como franco-siltoso para todos os solos, com exceção do solo 17 (série Desha), que foi um franco-argilo-siltoso, solo 28 (Loring), que foi um franco-arenoso, solo 6 (Coushatta) e 33 (Baxter) que foram classificados como textura argilosa. O interesse foi caracterizar como método de processamento do solo (secagem em estufa versus úmido de campo) e solução de extração afetando os índices de disponibilidade de nutrientes no solo de solos que possam receber uma recomendação para aplicação de fertilizantes potássicos. A variação das propriedades físicas e químicas dos solos secos em estufa e úmidos de campo representadas pelos 35 solos estão resumidas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Estatística descritiva para o pH do solo, matéria orgânica do solo (MOS), umidade, areia, silte, argila e cátions (K, Ca e Mg) extraídos com NH_4OAc e Mehlich-3 em 35 solos de Arkansas seco em estufa e úmido de campo

Parâmetros*	Solo seco em estufa				Solo úmido de campo			
	Média	Mediana	Min	Max	Média	Mediana	Min	Max
pH	6.9	6.9	5.2	8.3	--**	--	--	--
MOS	20.4	19.0	11.0	40.0	--	--	--	--
Umidade	--	--	--	--	224	223	121	290
Areia	147	106	39	498	--	--	--	--
Silte	678	695	378	785	--	--	--	--
Argila	175	175	48	277	--	--	--	--
	NH_4OAc (mg kg^{-1})							
K	114	104	36	261	106	83	20	266
Ca	1434	1256	611	2580	1441	1259	628	2617
Mg	225	189	33	503	254	216	37	536
	Mehlich-3 (mg kg^{-1})							
K	119	108	32	281	109	85	17	277
Ca	1640	1348	679	3600	1641	1354	707	3423
Mg	263	220	38	562	285	233	41	574

*Unidades para MOS, umidade, areia, silte, e argila estão em g kg^{-1} ; ** -- medida não registrada.

Comparação para K, Ca e Mg extraídos com Mehlich-3 versus NH_4OAc

As relações de K, Ca, Mg extraídas com soluções de NH_4OAc e Mehlich-3 foram significativas, positivas e lineares para o solo seco em estufa e com umidade de campo (Figura 3.1). A relação para cada nutriente indica que a interceptação foi

numericamente mais perto de 0 e a inclinação da reta numericamente mais perto de 1,0, quando a extração de K, Ca e Mg foi realizada com solo úmido de campo.

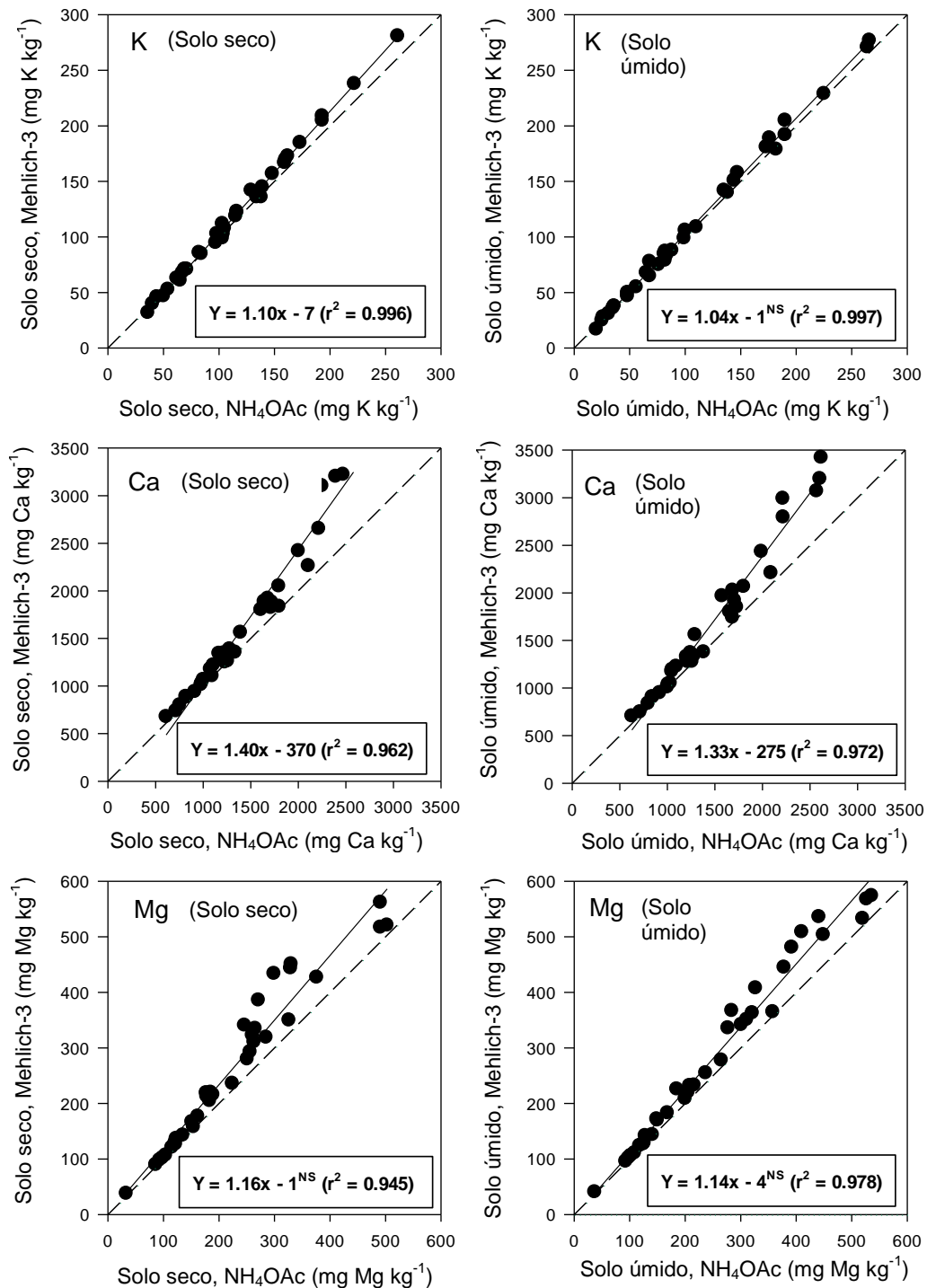


Figura 3.1 - Relação para concentrações de K, Ca e Mg entre o Mehlich-3 e 1 mol L⁻¹ NH₄OAc para amostras de solo seco em estufa e úmido de campo representando 35 solos de textura argilosa. A linha sólida representa a linha de regressão linear prevista e a linha a

tracejado representa uma linha de referência com coeficientes de 1,0 para a inclinação e 0 para a intercepção. Todas as intercepções e coeficientes de inclinação da reta foram significativos ($p < 0,05$) salvo indicação contrária. Coeficientes não significativos são seguidos por um NS sobrescritos

Tabela 3.3 - Relação entre Mehlich-3 e $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$ para os cátions do solo seco citado por várias fontes da literatura. Para a relação linear $y = mx + b$, onde y = concentração de nutrientes extraído por Mehlich-3, m = coeficiente linear, x = concentração de nutrientes extraído por NH_4OAc e b = intercepção

Elemento	Variável independente	Variável dependente	Inclinação da reta	Intercepção	r^2	Fonte
K, mg kg^{-1}	NH_4OAc	Mehlich-3	1.04	-1.60	0.95	Michaelson, Ping e Mitchell (1987)
K, mg kg^{-1}	NH_4OAc	Mehlich-3	0.62	1.90	0.98	Mallarino and Blackmer (1994)
K, cmol kg^{-1}	Mehlich-3	NH_4OAc	1.19	0.01	0.92	Beegle and Oravec (1990)
K, kg ha^{-1}	NH_4OAc	Mehlich-3	1.09	-43.00	0.99	Hanlon and Johnson (1984)
K, mg kg^{-1}	NH_4OAc	Mehlich-3	0.98	-2.50	0.97	Barbagelata (2006)
Ca, mg kg^{-1}	NH_4OAc	Mehlich-3	1.22	-66.00	0.99	Michaelson, Ping e Mitchell (1987)
Mg, mg kg^{-1}	NH_4OAc	Mehlich-3	1.06	-3.20	0.99	Michaelson, Ping e Mitchell (1987)
Mg, kg ha^{-1}	NH_4OAc	Mehlich-3	1.00	-21.00	0.98	Hanlon and Johnson (1984)

Os métodos Mehlich-3 e NH_4OAc são geralmente utilizados por extrair quantidades comparáveis de K do solo com as doses de K das recomendações de fertilizantes, utilizando os mesmos limites para os dois métodos (MALLARINO; SAWYER; BARNHART, 2013). Não foi possível encontrar artigos publicados sobre o método de extração de nutrientes no solo úmido para comparar com os resultados obtidos nesse trabalho.

A literatura mostra discordância sobre a relação entre K extraído do solo seco com estes dois métodos (Tabela 3.3). Mallarino e Blackmer (1994) apresentaram maiores concentrações de K extraíveis com NH_4OAc enquanto Hanlon e Johnson (1984), Mehlich (1984), Michaelson, Ping e Mitchell (1987), e Barbagelata (2006) todos relataram que a solução de Mehlich-3 extraiu quantidades próximas, iguais ou ligeiramente maiores de K no solo seco do que com NH_4OAc . Os resultados também sugerem que concentrações de K extraíveis com Mehlich-3 são ligeiramente mais elevadas do que as extraíveis com NH_4OAc (Figura 3.1). O NH_4OAc no solo seco extraiu maiores concentrações de K quando os valores foram $\leq 74 \text{ mg kg}^{-1}$.

A solução Mehlich-3 extraiu mais Ca do que o NH_4OAc quando as concentrações de Ca em NH_4OAc excederam 925 mg kg^{-1} para o solo seco em estufa, e 834 mg kg^{-1} para o solo úmido de campo. A diferença na quantidade de Ca extraída entre os métodos aumentou à medida em que se aumentou o Ca extraído. A intercepção de Mg não foi diferente de 0 e a inclinação da reta foi maior do que 1,0

resultando em maiores concentrações de Mg extraídos com a solução de Mehlich-3 a partir de ambos os solos seco em estufa e úmido de campo. A literatura contém apenas alguns exemplos comparando Mehlich-3 e NH_4OAc para Ca e Mg (Tabela 3.3). Hanlon e Johnson (1984), Mehlich (1984), e Michaelson, Ping e Mitchel (1987) relataram que Mehlich-3 tendem a extrair concentrações iguais ou maiores de Ca e Mg do que o NH_4OAc , o que é consistente com os resultados encontrados no presente trabalho.

Comparação para K, Ca e Mg extraídos com NH_4OAc em solo seco em estufa versus solo úmido de campo

As concentrações de cada cátion extraído do solo seco em estufa e úmido de campo com NH_4OAc seguiu relações lineares com inclinações lineares significativas e positivas, mas apenas o K tinha uma intercepção que foi significativamente diferente de zero (Figura 3.2). Os coeficientes de inclinação para cada cátion foram numericamente inferiores a 1,0, mas a secagem do solo teve um efeito muito maior sobre as concentrações de K e Mg do que Ca. O ponto de equilíbrio previsto entre o solo úmido de campo e o solo seco em estufa foi de 136 mg K kg^{-1} ($\pm 6 \text{ mg K kg}^{-1}$, 95% de intervalo de confiança), com concentrações de K no solo úmido de campo sendo menor e maior que as concentrações de K no solo seco em estufa abaixo e acima de 136 mg kg^{-1} de K, respectivamente.

A relação de K extraído com NH_4OAc entre solos secos e úmidos de campo determinados por Hill (2009) para solos em Iowa-EUA [mg kg^{-1} K (K solo seco) = $94 + 0.74x$, onde x é mg kg^{-1} K - solo úmido de campo] foi comparável à encontrada para solos em Arkansas, mas a maior intercepção sugere que os solos de Iowa podem liberar maiores quantidades de K, quando secos. Barbagelata (2006) havia relatado uma relação não linear entre as concentrações de K no solo seco em estufa e úmido de campo em solos de Iowa com um r^2 de 0,67.

As concentrações mais baixas de K extraídos em solo úmido de campo, com baixa concentração em K, e maior concentração de K extraído em solos secos estão bem documentados (BRAY; DeTURK, 1939; ATTOE, 1946; MATTHEWS; SHERRELL, 1960; DOWDY; HUTCHESON, 1963; HABY et al., 1988). O ponto de equilíbrio para o K no solo úmido e seco são iguais e é dependente do tipo de solo (MATTHEWS; SHERRELL, 1960). Ampla faixa de concentrações de equilíbrio para K foram relatados na literatura e variam de 56 a 500 mg kg^{-1} de K (MATTHEWS;

SHERRELL, 1960; DOWDY; HUTCHESON, 1963; HABY et al., 1988) e o ponto de equilíbrio tende a aumentar com o aumento da temperatura de secagem (HABY et al., 1988). Matthews e Sherrell (1960) concluíram que o ponto de equilíbrio do solo ocorre na concentração de K prevista para 1.11% de saturação de K nos sítios de troca catiônica. Os solos analisados por Luebs, Stanford e Scott (1956) e Barbagelata e Mallarino (2013) nunca mostraram concentrações de K no solo úmido maiores do que as concentrações de K no solo seco.

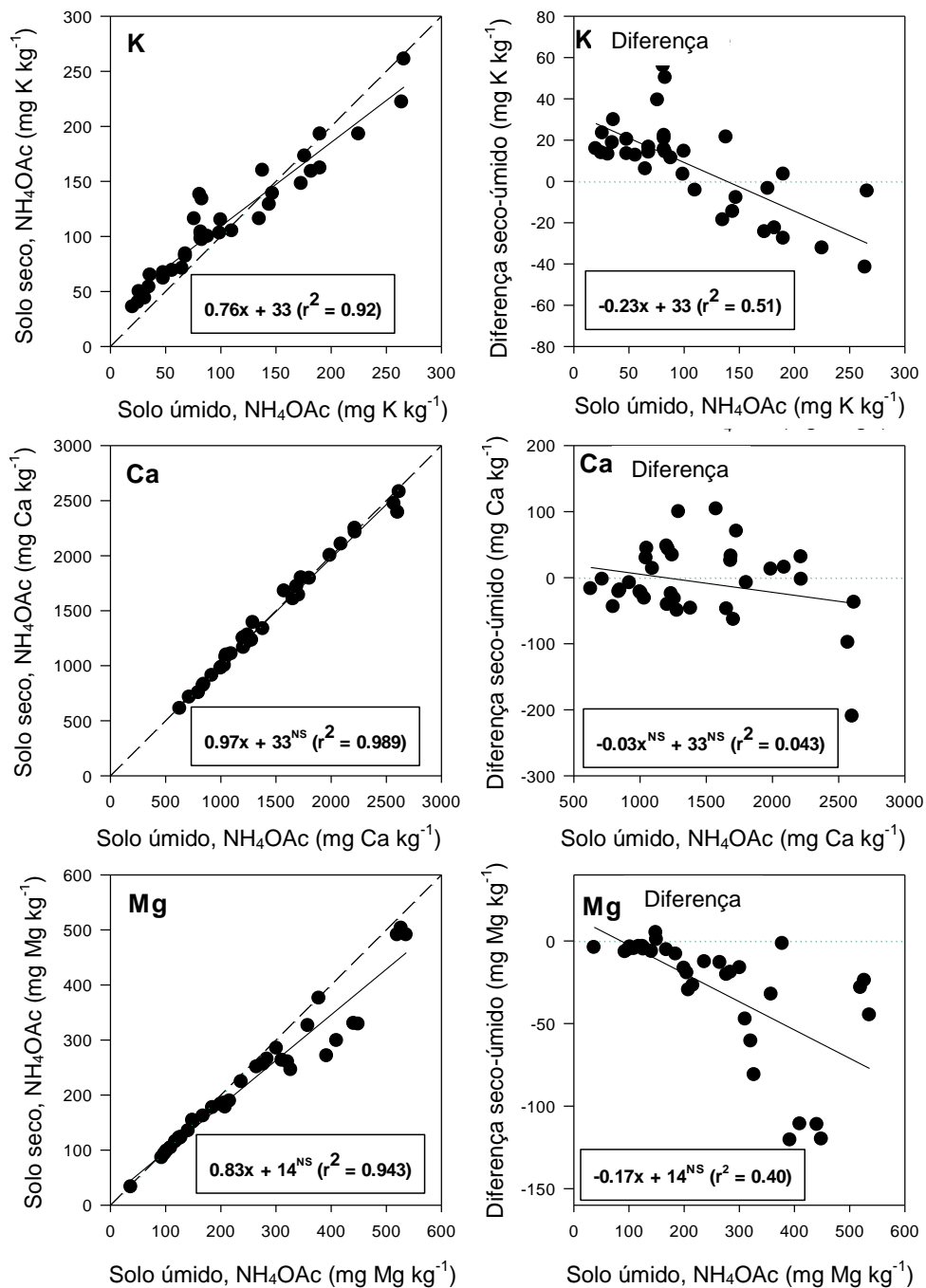


Figura 3.2 - Relações para as concentrações K, Ca e Mg entre solo seco em estufa e úmido de campo, e diferença para as concentrações de K, Ca, Mg no solo úmido de campo extraído com $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$. A linha sólida representa a linha de regressão linear previsto, a linha tracejada diagonal representa uma linha de referência com coeficientes de 1,0 para a inclinação e 0 para a intercepção, e a linha pontuada horizontal representa uma referência zero (diferença entre concentrações no solo úmido de campo). Todas as intercepções e coeficientes de inclinação da reta foram significativos ($p < 0,05$) salvo indicação contrária. Coeficientes não significativos são seguidos por um NS sobrescritos

Entre os três cátions avaliados, as concentrações de Ca extraídos por NH_4OAc foram menos afetadas pela secagem do solo em estufa (Figura 3.2). A intercepção não foi diferente de 0 e a inclinação da reta foi de 0,97 mg Ca no solo seco/mg Ca no solo úmido.

A secagem em estufa também afetou a quantidade de Mg no solo extraído utilizando NH_4OAc . Como para o Ca, a intercepção não foi diferente de zero, mas as concentrações de Mg no solo úmido de campo foram menores do que no solo seco em estufa. Não se encontrou nenhuma pesquisa publicada que mostrasse as relações entre solo seco e úmido para Ca e Mg utilizando $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$, mas Rechcigl, Payne e Sanchez (1992) relataram teores de Ca e Mg iguais ou maiores a partir de solo seco em estufa do que em solo úmido de campo usando solução de Mehlich-1.

Os resultados mostram a quantidade de Ca extraído do solo por $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$ sendo minimamente afetado pela secagem em estufa, no entanto, menos Mg é extraído do solo seco em estufa do que do solo úmido de campo. Os principais cátions do solo mostraram respostas diferentes em relação ao efeito da secagem em estufa nas concentrações destes cátions extraídos com NH_4OAc .

Comparação entre nutrientes extraíveis com Mehlich-3 em solo úmido de campo versus solo seco em estufa

As pesquisas que investigam o efeito da umidade do solo sobre as concentrações de nutrientes do solo extraíveis têm se concentrado em K extraído com $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$. A maior parte destas pesquisas foram feitas em 1950 e 1960, antes do desenvolvimento e adoção generalizada do extrator de solo Mehlich-3. Os resultados para os 35 solos de textura argilosa do Arkansas indicam que a influência da secagem do solo na extração de K, Ca e Mg com Mehlich-3 (Figura 3.3) é semelhante ao descrito para 1 mol L^{-1} de NH_4OAc (Figura 3.2) o qual não é surpreendente, dada a forte relação na extração de K, Ca e Mg destes dois métodos.

A concentração de equilíbrio para o K extraível por Mehlich-3 foi previsto ser $158 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}$, que foi ligeiramente mais elevada do que o ponto de equilíbrio para NH_4OAc ($136 \text{ mg kg}^{-1} \text{ K}$). No entanto, os dados de solos individuais indicam que há considerável variação entre solos e a concentração de equilíbrio prevista não é de grande utilidade prática.

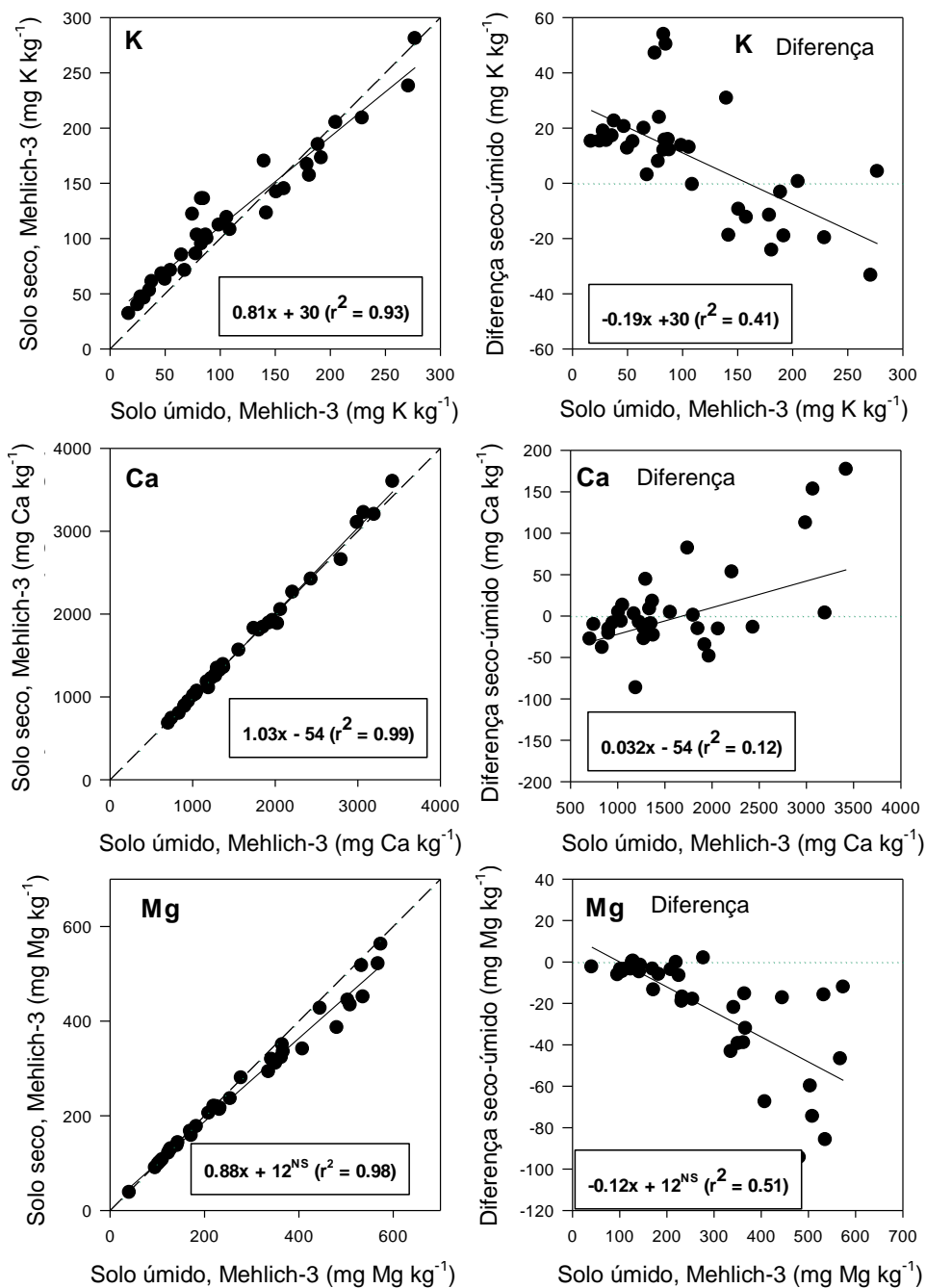


Figura 3.3 - Relações para as concentrações de K, Ca e Mg entre solo seco em estufa e úmido de campo e diferença para as concentrações de K, Ca e Mg no solo úmido em campo extraídos com solução de Mehlich-3. A linha sólida representa a linha de regressão linear previsto, a linha tracejada diagonal representa uma linha de referência com coeficientes de 1,0 para a inclinação e 0 para a intercepção, e a linha pontuada horizontal representa uma referência zero (diferença entre concentrações no solo úmido de campo). Todas as intercepções e coeficientes de inclinação da reta foram significativos ($p < 0,05$) salvo indicação contrária. Coeficientes não significativos são seguidos por um NS sobrescritos

As atuais recomendações de análise de solo da Universidade do Arkansas para extração em solo seco com Mehlich-3 classificam o solo como tendo ótima disponibilidade de K, solos com faixa de concentração de 131-175 mg kg⁻¹ de K, para uma amostra de solo na profundidade de 0-0,10 m (NORMAN; SLATON; ROBERTS, 2013). Os limites superiores de concentrações de K por Mehlich-3, do solo seco em estufa são 60, 90, 130 e 175 mg kg K⁻¹ para níveis de análise de solo definido como muito baixo, baixo, médio e ótimo, respectivamente. Embora recomendações de fertilizantes potássicos necessitem estar correlacionadas e calibradas para extração em solo úmido de campo, as concentrações de K no solo seco em estufa, que definem cada nível de análise de K do solo, iriam converter-se a ≤ 38 mg kg⁻¹ K como muito baixo, 39 a 74 mg kg⁻¹ K como baixo, 75-124 mg kg⁻¹ K como médio, 125-179 mg kg⁻¹ K como ótimo, e ≥ 180 mg kg⁻¹ K como sendo níveis de análise de solo acima de ótimo.

Da mesma forma, a concentração crítica de K no solo seco em estufa para a soja, conforme definido por Slaton et al. (2010) iria converter-se de 108 mg kg⁻¹ K para 96 mg kg⁻¹ K para extração em solo úmido de campo. A semelhança entre os valores críticos publicados para solos secos em estufa e os valores calculados para solos úmidos de campo sugerem a precisão de identificar corretamente os solos que respondem a adubação potássica podendo ser minimamente melhorados com a adoção de um procedimento de análise de solo úmido de campo. Apesar da alta correlação entre as concentrações de K no solo seco em estufa e úmido de campo e as concentrações críticas semelhantes, recomendações de adubação para solo com extração em solo úmido de campo devem ser correlacionadas e calibradas com pesquisa de campo pois, a relação adequada varia em função do tipo de solo.

3.4 Considerações Finais

Os aspectos desta pesquisa foram obter as relações de solo úmido de campo e solo seco entre os métodos de extração Mehlich-3 e $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ NH}_4\text{OAc}$ para os cátions K, Ca e Mg. Como esperado, as concentrações de K extraídas com Mehlich-3 e NH_4OAc foram altamente correlacionadas e responderam de forma semelhante para secagem em estufa. O ponto de equilíbrio para o K extraído usando Mehlich-3 entre o solo úmido de campo e o seco em estufa foi de 136 mg kg^{-1} K abaixo do qual as concentrações de K do solo seco em estufa foram menores do que do solo úmido de campo.

Os resultados sugerem que as concentrações de nutrientes usadas para recomendações agronômicas para o solo seco em estufa, precisam ser ajustadas para solo na umidade de campo. Apesar das relações lineares entre métodos de extração do solo seco em estufa e úmido de campo, pesquisas de campo adicionais são necessárias para correlacionar e calibrar os procedimentos de extração do solo úmido de campo com resposta da adubação ao rendimento das culturas ou verificar se as precisões das recomendações baseadas em solo seco em estufa podem ser melhoradas.

A concentração de K foi a mais afetada pela secagem em estufa e provavelmente exige extensa pesquisa de campo para correlacionar e calibrar as novas recomendações de adubação.

A adoção dos laboratórios pelo procedimento de extração com solo úmido de campo provavelmente seria com a finalidade de melhorar a precisão da análise de K no solo na previsão da resposta de rendimento da cultura à adubação potássica. No entanto, com base nas ligeiras mudanças na faixa de nível da análise do solo e pequena mudança no valor crítico para a análise de K do solo ($<8 \text{ mg kg}^{-1}$ de K), pode haver pouca ou nenhuma melhoria nas recomendações de fertilizantes potássicos, com a mudança para procedimento de análises em solos úmidos de campo pois, o K poderia ficar na mesma classe de interpretação.

As atuais concentrações de K, extraídos com Mehlich-3, para o limite inferior e superior no solo seco em estufa, que definem o nível da análise de solo como sendo médio, convertido para solo úmido de campo diferem em apenas 15 mg K kg^{-1} e 6 mg K kg^{-1} para o limite inferior e superior respectivamente. Os limites semelhantes sugerem que as precisões das recomendações não serão substancialmente melhoradas pela extração de K em solos úmidos de campo.

A tendência geral entre os procedimentos de extração em solo seco em estufa e úmido de campo sobre a análise de K no solo de textura argilosa do Arkansas, os quais a maioria foi classificada como Argissolos, foi semelhante ao que a literatura tem mostrado para solos que são na sua maioria classificados como Chernossolo. Com base nas informações publicadas para Chernossolo mais férteis, a magnitude da diferença entre as concentrações de K no solo seco em estufa e úmido de campo parece ser menor para os Argissolos.

Referências

ATTOE, O.J. Potassium fixation and release in soils occurring under moist and dry conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.11, n. 8, p.145-149, 1947.

BARBAGELATA, P.A. **Evaluation of potassium soil tests and methods for mapping soil fertility properties in Iowa corn and soybean fields**. 2006. 111 p. Dissertation (Major in Soil Science - Ph.D) - Iowa State University, Ames, 2006.

BARBAGELATA, P.A.; MALLARINO, A.P. Field correlation of potassium soil test methods based on dried and field-moist soil samples for corn and soybean. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 77, n. 1, p. 318–327, 2013.

BEAUDETTE, D.E.; O'GEEN, T. An iPhone application for on-demand access to digital soil survey information. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, n. 5, p.1682-1684, 2010.

BEEGLE, D.B.; ORAVEC, T.C. Comparison of field calibrations for Mehlich-3 P and K with Bray–Kurtz P1 and ammonium acetate K for corn. **Communication Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n. 13-16, p. 1025–1036, 1990.

BRAY, R.H.; DeTURK, E.E. The release of potassium from non-replaceable forms in Illinois soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 3, p.101-106, 1939.

COMBS, S.M.; NATHAN, M.V. Soil organic matter. In: NATHAN, M.V.; GELDERMAN, R. (Ed.) **Recommended chemical soil test procedures for the North Central region**. Columbia: University of Missouri, 2012. chap. 12, p. 12.1-12.6.

DOWDY, R.J.; HUTCHESON Jr, T.B. Effects of exchangeable potassium level and drying on release and fixation of potassium by soils as related to clay mineralogy. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v. 27 p.31–34, 1963.

FRANK, K.; BEEGLE, D.; DENNING, J. Phosphorus. In: NATHAN, M.V.; GELDERMAN, R. (Ed.). **Recommended chemical soil test procedures for the North Central region**. Columbia: University of Missouri, 2012. chap. 6, p. 6.1-6.9.

GAVLAK, R.G.; HORNECK, D.A.; MILLER, R.O.; KOTUBY-AMACHER, J. **Soil, plant, and water reference methods for the western region**. 2nd ed. Fort Collins: Colorado State University, 2003. p. 129-131.

GELDERMAN, R.H.; MALLARINO, A.P. Soil sample preparation. In: NATHAN, M.V. GELDERMAN, R. (Ed.). **Recommended chemical soil test procedures for the North Central region**. Columbia: University of Missouri, 2012. chap. 1, p. 1.1-1.4.

GRAVA, J.; SPALDING, G.E.; CALDWELL, A.C. Effect of drying upon the amounts of easily extractable potassium and phosphorus in Nicollet clay loam. **Agronomy Journal**, Madison. v. 53, n. 4, p. 219–221, 1961.

HABY, V.A.; SIMS, J.R.; SKOGLEY, E.O.; LUND, R.E. Effect of sample pretreatment on extractable soil potassium. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 19, p. 91–106, 1988.

HANLON, E.A.; JOHNSON, V. Bray/Kurtz, Mehlich III, AB/D and ammonium acetate extractions of P, K, and Mg in four Oklahoma soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.15 p. 277-294, 1984.

HILL, B.E. **Soil sample handling for routine analysis of plant-available soil potassium**. 2009. 43 p. Thesis (Major in Soil Science – M.S.) - Iowa State University, Ames, 2009.

KALRA, Y.P.; MAYNARD, D.G. **Methods manual for forest soil and plant analysis - Information Report NOR-X-319**. Edmonton: Forestry Canada, 1991. 116 p.

LEGGETT, G.E.; ARGYLE, D.P. The DTPA-extractable iron, manganese, copper, and zinc from neutral and calcareous soils dried under different conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, p. 518-522, 1983.

LUEBS, R.E.; STANFORD, G.; SCOTT, A.D. Relation of available potassium to soil moisture. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.20, p. 45–50, 1956.

MALLARINO, A.P.; BLACKMER, A.M. Profit-maximizing critical values of soil-test potassium for corn. **Journal of Production Agriculture**, Ohio, v. 7, p. 261–268, 1994.

MALLARINO, A.P.; SAWYER, J.E.; BARNHART, S.K. **A General Guide for Crop Nutrient and Limestone Recommendations in Iowa**. Ames: Iowa State University, 2013. 13 p.

MATTHEWS, B.C.; SHERRELL, C.G. Effect of drying on exchangeable potassium of Ontario soils and the relation of exchangeable potassium to crop yield. **Canadian Journal Soil Science**, Ottawa, v. 40 p. 35-41, 1960.

MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 15, p. 1409–1416, 1984.

MICHAELSON, G.J.; PING, C.L.; MITCHELL, G.A. Correlation of Mehlich 3, Bray 1, and ammonium acetate extractable P, K, Ca, and Mg for Alaska agricultural soils.

Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York, v. 18, p.1003-1015, 1987.

NORMAN, R.; SLATON, N.; ROBERTS, T. Soil Fertility. In: HARDKE, J.T. (Ed.) **Arkansas Rice Production Handbook**. Fayetteville: University of Arkansas, 2013. p. 69-101.

POTE, D.H.; DANIEL, T.C.; NICHOLS, D.J.; MOORE JUNIOR, P.A.; MILLER, D.M.; EDWARDS, D.R. Seasonal and soil-drying effects on runoff phosphorus relationships to soil phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 63, p. 1006–1012, 1999.

RECHCIGL, J.E.; PAYNE, G.G.; SANCHEZ, C.A. Comparison of various soil drying techniques on extractable nutrients. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, p. 2347-2363, 1992.

SCOTT, A.D.; SMITH, S.J. Mechanism for soil potassium release by drying. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 32, p. 443-444, 1968.

SLATON, N.A.; GOLDEN, B.R.; DeLONG, R.E.; MOZAFFARI, M. Correlation and calibration of soil potassium availability with soybean yield and trifoliolate potassium. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 74, p. 1642-1651, 2010.

WARNCKE, D.; BROWN, J.R.; Potassium and other basic cations. In: NATHAN, M.V.; GELDERMAN, R. (Ed.). **Recommended chemical soil test procedures for the North Central region**. Columbia: University of Missouri, 2012. Chap. 7, p.7.1-7.3.