

PAULINO DA CUNHA LEITE

EFEITO DE TRATAMENTOS TÉRMICOS EM MISTURAS DE
VERDETE DE ABAETÉ, FOSFATO DE ARAXÁ E CALCÁRIO
MAGNESIANO, NA DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO E
FÓSFORO

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Pós-graduação
em Agronomia, concentração em Solos
e Nutrição de Plantas, para obtenção do
grau de MESTRE

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

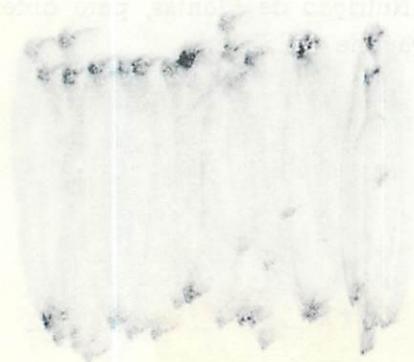
LAVRAS - MINAS GERAIS

1 9 8 5

PAULINO DA CUNHA LEITE

EFEITO DE TRATAMENTOS TÉRMICOS EM MISTURAS DE
VERDETE DE ABATÊ, FOSFATO DE ARAXÁ E CALCÁRIO
MAGNESIANO, NA DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO E
FÓSFORO

Plantas experimentais da Escola Superior de
Lavras, Minas Gerais, em 1953, sob a direção
do Prof. Dr. Carlos de F. Queiroz, e
colaboração do Prof. Dr. Antônio de
F. Queiroz, com assistência em Lavras
e Botânica de Lavras, com o auxílio



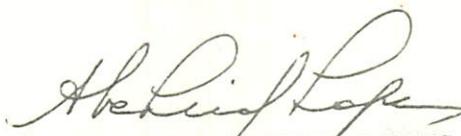
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA DE LAVRAS

LAVRAS - MINAS GERAIS

1953

EFEITO DE TRATAMENTOS TÉRMICOS EM MISTURAS DE VERDETE DE ABAETÉ,
FOSFATO DE ARAXÁ E CALCÁRIO MAGNESIANO, NA DISPONIBILIDADE DE
POTÁSSIO E FÓSFORO

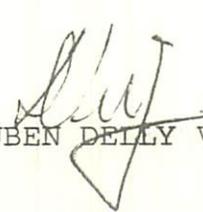
APROVADA:



Prof. ALFREDO SCHEID LOPES
Orientador



~~Prof. GERALDO APARECIDO DE AQUINO GUEDES~~



Prof. RUBEN DELLY VEIGA

Ao meu pai Abelardo (in memoriam),
à minha mãe Bárbara e
à minha noiva Heloísa

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG, e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida durante a realização do curso.

À ULTRAFÉRTIL, S.A. e à Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE) pela ajuda financeira para a impressão deste trabalho.

A Metais de Minas Gerais S/A - METAMIG, pelo fornecimento de verdete de Abaeté e análises dessa rocha.

Ao professor Alfredo Scheid Lopes pela orientação, incentivo, dedicação, apoio e amizade.

Pela Co-orientação, boa vontade e amizade agradeço aos professores Geraldo Aparecido de Aquino Guedes e Ruben Delly Veiga.

A todos os professores de convivência, do Departamento de Ciência do Solo, pela colaboração, críticas e sugestões.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência do Solo, pela amizade e colaboração.

A todos os funcionários da Biblioteca Central, pelo auxílio e esclarecimentos sobre as referências bibliográficas.

Ao pesquisador da EMBRAPA/EPAMIG Francisco Dias Nogueira, e demais funcionários da EPAMIG, de convivência no Departamento de Ciência do Solo, pela amizade e colaboração.

Aos colegas de república e todos aqueles que de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA DO AUTOR

PAULINO DA CUNHA LEITE, filho de Urias Abelardo Leite e Bárbara Cândida de Mendonça, nasceu em Bambuí, Minas Gerais, aos 8 de agosto de 1955.

Concluiu o primeiro grau no Colégio Coronel José Afonso de Almeida, Sacramento (MG), e o Curso Técnico em Agropecuária no Colégio Agrícola Federal de Bambuí (MG), em 1977.

Cursou Engenharia Agrônômica na Escola Superior de Agricultura de Lavras (MG), no período de janeiro de 1978 a dezembro de 1981.

Em março de 1982, na mesma escola, iniciou seu curso de Pós-Graduação em Agronomia a nível de mestrado, com área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, defendendo tese aos 7 de fevereiro de 1985.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Fosfato de Araxá no contexto dos fosfatos naturais: natureza e reatividade no solo.....	04
2.2. Verdete de Abaeté no contexto dos minerais potás- sicos: natureza e reatividade no solo.....	09
2.3. Calcinação a altas temperaturas e aumento da reati- vidade dos fosfatos naturais.....	14
2.4. Calcinação a altas temperaturas e aumento da reati- vidade de rochas potássicas de baixa solubilidade.	21
2.5. Solubilidade de rochas fosfatadas, "in natura" ou submetidas a tratamentos: avaliações do fósforo disponível.....	24
2.6. Índices de disponibilidade do potássio no solo e avaliação do potencial agrônômico de rochas potás- sicas de baixa solubilidade "in natura" ou submeti- das a tratamentos.....	29
2.7. Considerações gerais.....	32
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Preparo e composição química das misturas de verde- te de Abaeté com fosfato de Araxá e calcário magne- siano	33

	Página
3.2. Material do solo.....	36
3.3. Tratamentos e delineamento experimental.....	36
3.4. Experimento em casa de vegetação.....	38
3.5. Análises estatísticas.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1. Caracterização química das misturas submetidas aos diversos tratamentos térmicos.....	45
4.1.1. Avaliação dos teores totais de nutrientes (expressos em óxidos).....	45
4.1.2. Avaliação da solubilidade de potássio das misturas após os tratamentos térmicos.....	47
4.1.3. Avaliação da solubilidade de fósforo das misturas após os tratamentos térmicos.....	49
4.2. Produção de matéria seca pela parte aérea do milho	52
4.3. Quantidades de potássio e fósforo acumulados pela parte aérea do milho.....	71
4.4. Disponibilidade de potássio no solo.....	82
4.5. Disponibilidade de fósforo no solo.....	99
5. CONCLUSÕES	112
6. RESUMO	114
7. SUMMARY	117
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
APÊNDICE	132

LISTA DE QUADROS

Quadro		Página
1	Substituições na estrutura da fluorapatita ; $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$	6
2	Resultados das análises químicas do verdete de Abaeté (VA), fosfato de Araxá concentrado (FA) e calcário magnesiano (CM). ESAL, Lavras-MG. 1984.	34
3	Resultados das análises químicas das proporções CM na mistura VA + FA (1/1), submetidas à tem- peratura ambiente, 1100°C e Fusão. ESAL, Lavras- MG. 1984.....	35
4	Resultado das análises químicas e físicas no mate- rial do solo da camada de 0-20 cm. ESAL, Lavras - MG. 1984.....	37
5	Resultados das análises químicas no solo original e após o período de incubação com carbonatos de Ca e de Mg. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	39
6	Quantidades totais de Ca, Mg, K e P aplicados nos diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	42

Quadro

Página

7	Médias de matéria seca produzida pela parte aérea do milho em cada cultivo, e soma dos cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de cálcio na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	53
8	Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre matéria seca da parte aérea (g/vaso) e parâmetros de solo após o primeiro cultivo, e de planta no segundo cultivo, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras - MG. 1984.....	58
9	Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre matéria seca da parte aérea (g/vaso) e parâmetros de solo após o primeiro cultivo, e de planta no segundo cultivo, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras - MG. 1984.....	59
10	Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre pH e parâmetros de solo após o primeiro cultivo e de planta no segundo cultivo, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	60
11	Médias de matéria seca produzida pela parte aérea do milho no segundo cultivo e soma dos cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.	61
12	Médias dos valores de pH em KCl do substrato após o primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	63

Quadro

Página

13	Médias dos valores de pH em KCl no substrato após o primeiro e segundo cultivos, em função das temperaturas de calcinação e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	69
14	Médias de potássio acumulado na parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	73
15	Médias de fósforo acumulado na parte aérea do milho no segundo cultivo e soma dos cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	74
16	Médias de potássio acumulado na parte aérea do milho no primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984	81
17	Médias de potássio acumulado na parte aérea do milho no primeiro cultivo e soma dos cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.	83
18	Médias de potássio disponível (Mehlich) após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	85

Quadro	Página	
19	Médias de potássio disponível (Mehlich) após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	86
20	Médias de potássio disponível (Mehlich) após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos níveis de adubação e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG.1984	87
21	Médias de potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos tratamentos térmicos, proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	92
22	Coefficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre algumas variáveis em destaque, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	97
23	Médias de potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	98
24	Médias de fósforo solúvel no extrator Bray I após o primeiro e segundo cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG.1984	102

Quadro	Página
25 Médias de fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	105
26 Médias de fósforo solúvel no extrator de Mehlich , após o primeiro e segundo cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL; Lavras-MG. 1984.....	108
27 Médias de fósforo solúvel no extrator de Mehlich, após o primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Quantidades de P total e K total aplicados, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos (médias dos níveis de adubação) . ESAL, Lavras-MG. 1984.....	41
2	Solubilidade relativa de potássio em HNO ₃ 1N a quente (relação 1:50) para os diversos materiais, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	48
3	Solubilidade relativa de fósforo em ácido cítrico 2% (relação 1:100), para os diversos materiais, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	51
4	Matéria seca da parte aérea do milho, no primeiro cultivo, em função das proporções de calcário na mistura, tratamento térmico à fusão e testemunha . ESAL, Lavras-MG. 1984.....	55
5	Matéria seca da parte aérea do milho, no segundo cultivo, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG., 1984.....	66

Figura		Página
6	Matéria seca total da parte aérea do milho em dois cultivos, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	67
7	Potássio acumulado na parte aérea do milho, no <u>pr</u> imeiro cultivo, em função das proporções de calcá - rio na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	75
8	Fósforo acumulado na parte aérea do milho, no <u>se</u> gundo cultivo, em função das proporções de calcá - rio na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	76
9	Fósforo total acumulado na parte aérea do milho em dois cultivos, em função das proporções de calcá - rio na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	77
10	Potássio total acumulado na parte aérea do milho, em dois cultivos, em função das proporções de cal - cário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	78
11	Potássio acumulado na parte aérea do milho, no <u>se</u> gundo cultivo, em função das proporções de calcá - rio na mistura, tratamento térmico à fusão e <u>tes</u> temunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	79

Figura		Página
12	Potássio disponível (Mehlich) no material do solo, após o primeiro cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	88
13	Potássio disponível (Mehlich) no material de solo, após o segundo cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	89
14	Potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o primeiro cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	93
15	Potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o segundo cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	94
16	Fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o primeiro cultivo, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	103
17	Fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o segundo cultivo, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	104

LISTA DO APÊNDICE

Quadro		Página
1 A	Potássio, fósforo e matéria seca acumulados na parte aérea do milho (MS) no primeiro e segundo cultivos , em função dos tratamentos térmicos, proporções de calcário na mistura e níveis de adubação, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	133
2 A	Resumo das análises de variância da produção de matéria seca pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos mesmos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	134
3 A	Produção de matéria seca (MS) pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos cultivos para os tratamentos adicionais, incluindo 2 tratamentos que não participaram na análise de variância (média de 3 repetições). ESAL, Lavras-MG. 1984.....	135
4 A	Cálcio e Magnésio trocáveis e pH em KCl após o primeiro e segundo cultivos, em função dos tratamentos térmicos, proporções de calcário na mistura e níveis de adubação, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984	136

Quadro	Página	
5 A	Resumo das análises de variância dos dados de potássio acumulado pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	137
6 A	Resumo das análises de variância dos dados de fósforo acumulado pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos mesmos. ESAL, Lavras-MG. 1984.	138
7 A	Potássio extraído do material de solo com HNO_3 a quente e extrator de Mehlich, após o primeiro e segundo cultivos para os diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	139
8 A	Resumo das análises de variância do potássio solúvel no extrator de Mehlich, após o primeiro e segundo cultivos de milho. ESAL, Lavras-MG. 1984.	140
9 A	Resumo das análises de variância do potássio solúvel em HNO_3 a quente, após o primeiro e segundo cultivos de milho. ESAL, Lavras-MG. 1984..	141
10 A	Fósforo extraído do material do solo com os extratores de Bray I, Mehlich e Olsen, após o primeiro e segundo cultivos para os diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	142
11 A	Resumo das análises de variância do fósforo solúvel no extrator de Mehlich, após o primeiro e segundo cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	143.

Quadro		Página
12 A	Resumo das análises de variância do fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o primeiro se <u>se</u> gundo cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	144
13 A	Resumo das análises de variância do pH em KCl após o primeiro e segundo cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	145
14 A	Cálcio e Magnésio acumulados na matéria seca da parte aérea do milho, no primeiro e segundo <u>cul</u> ti vos para os diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG. 1984.....	146

1. INTRODUÇÃO

A corrida pelo aumento da produção de alimentos exige uma racionalização dos recursos naturais como ponto estratégico, em busca de uma agricultura desenvolvida, de caráter competitivo.

A agricultura brasileira, empenhada em situar o país na categoria de grande fornecedor de alimentos, esbarra em fatores limitantes de clima e solo. Sabe-se que as frequentes chuvas de alta intensidade que caem em certas áreas do território nacional têm efeitos agravantes em paralelo com a natureza e propriedades dos solos "tropicais" brasileiros. Dentre estes solos aqueles sob "cerrado", representados na maioria por Latossolos e Podzólicos, apresentam predominantemente mineralogia sesquioxídica e caolinítica, LOPES (39). Os baixos valores de pH e CTC, aliados a altos potenciais de retenção de fosfatos expressos por esse solos, LOPES (38), têm contribuído para uma baixa eficiência dos fertilizantes potássicos e fosfatados de alta solubilidade, convencionalmente utilizados.

Outrossim, as propriedades desses solos têm se apresentado compatíveis com o uso alternativo de fontes de fertilizantes de

solubilidade mais controlada, podendo forçar a reação destas ao ponto de equivalerem às fontes convencionais em período de cultivo mais ou menos curto (19, 62, 63). Porém, o uso destas fontes é limitado a um número restrito de culturas "tolerantes" às condições de solo que, se por um lado facilitam a reatividade das mesmas, por outro, são adversas ao crescimento vegetal, LOPES (41).

A pesquisa no Brasil tem procurado viabilizar o uso de rochas potássicas (17, 18, 20, 63) e fosfatadas (23, 29, 47) no sentido de substituir fontes convencionais solúveis em água, atualmente em uso. Para tanto, tem-se procurado alterar a natureza dessas rochas para minimizar os efeitos dos fatores de solo, os quais governam a eficiência do produto natural. A meta final tem sido o desenvolvimento de fontes fertilizantes potássicas e fosfatadas de maior eficiência, padronizadas e compatíveis com uma agricultura intensiva.

As reservas estimadas de sais solúveis de potássio nas áreas litorâneas do país, recôncavo e nas bacias sedimentares de Sergipe e Médio Amazonas, de acordo com MALAVOLTA & USHERWOOD (46), têm sido alvo da política nacional que busca a autosuficiência em fertilizantes potássicos solúveis, a exemplo do já obtido com os fosfatados, SECRETARIA DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO-SP (64). Por outro lado, o Brasil dispõe de imensas reservas de minerais potássicos e fosfatados de baixa solubilidade, situadas em posições estratégicas sob aspecto geográfico, mas que exigem o desenvolvimento de uma tecnologia de transformação capaz de torná-las fontes eficientes de fertilizantes.

A rocha potássica, verdete de Abaeté, juntamente com fosfato de Araxá e calcário magnesiano são objetos dessa pesquisa. Com base em trabalhos anteriores (18, 20, 23, 29) levanta-se a possibilidade de obter um fertilizante-corretivo do solo na forma de "Termofosfato Potássico Cálcico Magnesiano". Esse produto é suposto apresentar uma menor velocidade de dissolução, com poder fertilizante-corretivo do solo, e eficiência agrônômica semelhante aos fertilizantes altamente solúveis.

Especificamente, essa pesquisa objetiva verificar o efeito das combinações entre tratamentos térmicos com proporções de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá concentrado e calcário magnesiano, sobre a disponibilidade de K, P, Ca e Mg para a cultura do milho cultivado em casa de vegetação, utilizando amostras de solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Câmbico, textura média.

2. REVISÃO DE LITERATURA

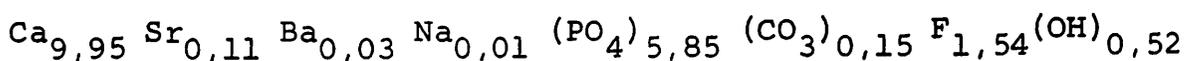
2.1. Fosfato de Araxá no contexto dos fosfatos naturais: natureza e reatividade no solo.

O fosfato de Araxá, ao lado de outros fosfatos naturais brasileiros (Patos de Minas, Catalão, Jacupiranga, Abaeté e Alvorada) apresenta baixa solubilidade, e, geralmente, menor eficiência agrônômica que aqueles importados (Gafsa, Negev, Marrocos, Flórida, Tennessee), RAIJ et alii (57). Esse fato é justificado pela mineralogia e química desses fosfatos de rocha, visto que, as comparações entre estas fontes de fósforo têm sido feitas sob condições idênticas de laboratório, casa de vegetação e campo (9, 23, 47, 69).

Os fosfatos de rochas comerciais apresentam uma propriedade comum por pertencerem ao grupo dos minerais apatíticos, os quais são, em geral, derivados da fluorapatita, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$. As diferentes composições das apatitas segundo McCLELLAN & GREMILLION (43) refletem as condições de suas origens geoquímicas, as quais podem ser ígneas, metamórficas ou sedimentares. Segundo esses autores, as jazidas apatíticas de Araxá são de natureza ígnea meta

mórfica. KHASAWNEH & DOLL (32) abordam a baixa reatividade dos fosfatos de rocha de natureza ígnea-metamórfica, esclarecendo o fato de serem bem cristalizados, sem superfícies internas.

Dados de Gremillion e Lehr, citados por KAMINSKI (30) indicam que o concentrado de Araxá é essencialmente uma hidroxifluorapatita, com pequena substituição de fosfato por carbonato, sendo bem cristalizado, essencialmente hexagonal, de natureza não porosa nas partículas da apatita, cuja fórmula proposta é a seguinte:



McCLELLAN & GREMILLION (43) mencionam que mais de 25 elementos têm sido encontrados como íons substituintes na estrutura das fluorapatitas; os principais podem ser vistos no Quadro 1. Esses autores esclarecem que, com a substituição do PO_4^{3-} por CO_3^{2-} , o desequilíbrio eletrostático é corrigido apenas parcialmente pela entrada de F^- em sítios de oxigênio vazios, tendo como consequência a concomitante substituição de Ca^{2+} estrutural por outros cátions monovalentes a fim de manter a neutralidade eletrostática no mineral.

Por outro lado, em apatitas sedimentares, os cátions Na^+ e Mg^{2+} têm comportado com maiores poderes de substituição, relativamente a K^+ , pois este possui um raio iônico 2,3 vezes maior que o raio iônico do Ca^{2+} . Esses autores acrescentam o fato observado em experimentos de síntese de carbonato apatitas, onde o íon K^+ parece suprimir a substituição de PO_4^{3-} pelo CO_3^{2-} , sendo que a substitui

ção concomitante do Ca^{2+} estrutural pelo Na^+ foi aumentada em valores mais elevados de pH do meio.

QUADRO 1. Substituições na estrutura da fluorapatita; $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$

íon constituinte	íon substituinte
Ca^{2+}	Na^+ , Mn^{2+} , Fe^{2+} , K^+
P^{5+}	C^{4+} , S^{6+} , Si^{4+} , Al^{3+}
F^-	OH^- , Cl^- , CO_3^{2-}
O^{2-}	F^- , OH^-

FONTE: McCLELLAN & GREMILLION (43).

É do consenso geral que a efetividade do fosfato de rocha pode variar desde o estado de igualmente às fontes solúveis em água até a ausência de resposta, dependendo do tipo de rocha, espécies de culturas, espaço de tempo considerado e fatores de solo.

De acordo com as discussões de KHASAWNEH & DOLL (32) as forças que controlam a dissolução do fosfato de rocha estão relacionadas aos potenciais químicos de seus constituintes na solução do solo. Ademais, com a substituição do PO_4^{3-} pelo CO_3^{2-} , na estrutura das apatitas, sua área específica aumenta, pois esta torna-se mais porosa e, conseqüentemente, mais reativa no solo.

Um outro tipo de enfoque para explicar a dinâmica de solubilidade de fosfatos de rocha é o conceito de energia livre. CHIEN (11) esclarece que a energia livre de dissolução da rocha é normal

mente elevada (positiva por sinal), indicando a necessidade de uma força de dissolução, a qual é fornecida pela energia livre de neutralização (essencialmente negativa) dos ânions provenientes da mesma (PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , F^- , OH^-) com íons H^+ , em pH baixo.

Desse modo, fatores de solo tais como potenciais químicos de H^+ , Ca^{2+} , H_2PO_4^- e F^- controlam diretamente a solubilização de uma hidroxifluorapatita. Nesse contexto, outros fatores de solo e de planta que alteram esses potenciais, têm um importante papel na reatividade da rocha no solo. De acordo com KHASAWNEH & DOLL (32), as diferenças nos padrões de demanda de P e Ca pelas culturas, retidos no solo ou Ca lixiviado, bem como o pH, controlam a solubilidade dos fosfatos de rocha. Esses autores também esclarecem que solos ricos em óxidos de Fe e de Al, especialmente em valores baixos de pH, apresentam as formas de fosfatos de Fe e de Al em menor estado de energia livre.

Normalmente, os solos da região tropical apresentam uma mineralogia predominantemente oxídica, SANCHEZ (61), e as propriedades provenientes da mesma, tais como baixas atividades de OH^- , Ca^{2+} e H_2PO_4^- em solução. Esses fatores aliados à elevada capacidade de retenção de fósforo, favorecem a dissolução dos fosfatos de rocha. Entretanto, os valores baixos de pH do solo favorecem a retenção do P em formas ligadas a Fe e Al, cuja constante de solubilidade é baixa, tendendo a diminuir com o tempo devido a uma maior cristalização das mesmas, SMYTH & SANCHEZ (67) e YOST et alii (72). Assim, quando uma rocha fosfatada é aplicada em solos tipicamente de mineralogia oxídica, tem-se por um lado uma dissolução lenta dessa ro

cha, e por outro, uma competição entre raízes das culturas e o próprio solo pelos fosfatos solúveis. A estratégia agronômica tem sido no sentido de promover um máximo de solubilização da rocha a fim de saturar sítios de retenção de P com maior energia de ligação, visando uma melhor eficiência de outras fontes fosfatadas mais solúveis aplicadas posteriormente, no momento do plantio, GOEDERT & LOBATO (26).

A magnitude de retenção de fósforo em solos oxídicos ácidos é elevada, a ponto de exigir doses maciças de fosfatos naturais para satisfazer um nível crítico de potencial de fosfato para as culturas, conforme mostram os trabalhos de CHIEN et alii (14) e BRAGA (9).

É do consenso geral que fosfatos naturais devam reagir com as partículas ácidas do solo para se dissolverem, sendo imprescindível misturá-los intimamente com o solo para atingirem máxima eficiência de solubilização, RAIJ et alii (57) e LOPES (41). Assim, resulta uma interação negativa de calagem com fosfato natural, sendo necessário desprezar aquela durante um período mais ou menos longo, o suficiente para que o fosfato natural apresente uma reatividade satisfatória no solo. Pelo fato de fosfatos naturais de baixa reatividade aplicados com calcário serem pouco reativos e, sem calcário pouco eficientes devido aos efeitos tóxicos da acidez às culturas, seu uso exclusivo se torna limitado. Segundo LOPES (41) seria possível dispensar a calagem em culturas tolerantes à acidez; para culturas não tolerantes, a alternativa viável seria aplicar o fosfato natural previamente à calagem.

Conclui-se que a efetividade do fosfato de Araxá em solos sob "cerrado" depende, dentre outros fatores, do tempo, espécie cultivada e modo de aplicação. A utilização desse produto para aplicação direta, restringe-se, portanto, à estratégia de tentar saturar sítios com alta energia de ligação com fósforo. Essa tecnologia de manejo é viável apenas para certas condições de solo e planta.

2.2. Verdete de Abaeté no contexto dos minerais potássicos: natureza e reatividade no solo.

O potássio compõe 2,6% da crosta terrestre, é o sétimo elemento mineral em abundância e, entre os nutrientes de plantas, ocupa o terceiro lugar após o ferro e o cálcio, SCHROEDER (66). Entretanto, a maior quantidade de potássio está combinada em minerais, predominantemente em silicatos "primários" e "secundários" de estrutura cristalina, os quais liberam esse nutriente ao solo pelo processo de intemperização contínua.

Micas e feldspatos potássicos representam a quase totalidade dos minerais "primários" de potássio. SCHROEDER (66) caracteriza as micas como aluminossilicatos mais complexos que os feldspatos, podendo ser distinguidas de acordo com a composição química e origem:

- muscovita, $K Al_2 (AlSi_3) O_{10} (OH)_2$, de estrutura dioctaedral, derivada de pegmatitos e migmatitos;

- sericita, como muscovita, porém fina, e de origem metamórfica;

- biotita, $K (Mg Fe^{2+})_3 (Al Si_3) O_{10} (OH)_2$, de estrutura trioctaedral, derivada de pegmatitos, migmatitos e metamórfitos;

- flogopita, $K Mg_3 (AlSi_3) O_{10} (OH)_2$, de estrutura também dioctaedral, mas de origem pneumatolítica.

Segundo GRIM (27) e SCHROEDER (66), à medida que ocorre intemperização física e química, formam-se partículas de mica (10% K) menores que $2,0 \mu m$, as quais por hidratação formam as micas hidratadas (6-8% K) e daí, formam-se as ilitas (4-6% K); as ilitas, perdendo K, formam os "minerais transitórios de argila" (3% K) e, posteriormente, minerais com K livre como montmorilonita (smectita) e vermiculita ($< 1\% K$).

O verdete de Abaeté é um silicato potássico encontrado na região Cedro de Abaeté (MG). Sua composição mineralógica não está bem definida, sendo caracterizado como uma rocha, recristalizada, de textura clástica orientada, classificada como ardósia e constituído de mica ilita-sericita ($> 95\%$), segundo análises realizadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. No entanto, foi classificada como xisto ardosiano, possuindo 65% de sericita e 25% de glauconita, em análise realizada pela Companhia Vale do Rio Doce.

Em análises químicas realizadas pela GEOSOL (Belo Horizonte), em amostras de três localidades diferentes da mesma jazida, o verdete de Abaeté apresentou os seguintes componentes expressos em óxidos: $SiO_2 = 59,03\%$; $Al_2O_3 = 16,00\%$; $K_2O = 11,41\%$; $Fe_2O_3 = 6,32\%$; $MgO = 2,80\%$; $FeO = 0,98\%$; $Na_2O = 0,12\%$; $MnO = 0,04\%$; $CaO < 0,10\%$;

$P_2O_5 = 0,14\%$ e $TiO_2 = 0,83\%$.

De acordo com SCHROEDER (66), glauconita é uma mica dioctaedral, de composição muito variável, originária de sedimentos marinhos, a qual se distingue da ilita dioctaedral pelo seu alto teor de Fe nos octaedros e, ao lado do K^+ , possui outros cátions nas entrecamadas tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ .

RICH (58) discute os mecanismos de gênese das micas, salientando que um aumento em K^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} e Ti, mas não Ca^{2+} , tende a aumentar o parâmetro b desses minerais. À medida que a mica apresenta com mais Mg^{2+} e Fe^{2+} na camada octaedral, torna-se mais trioctaedral. Isso levaria a um aumento no parâmetro b, uma menor rotação dos tetraedros (correspondendo a um menor encaixe com os octaedros) e uma disposição mais perpendicular das pontes O-H ao plano basal 001. Esse autor esclarece que esses fatores favorecem a liberação do K^+ nas micas trioctaedrais, tal como biotita, em comparação a micas dioctaedrais como muscovita. O mesmo autor acrescenta ainda, que a ilita, usualmente dioctaedral, é considerada uma interstratificação de mica e montmorilonita; glauconita é análoga a ilita, exceto que ilita é aluminosa, ao passo que glauconita tem alto teor de ferro, aparentemente de origem marinha e associação orgânica. Possuindo considerável desordem (ou assimetria de carga), a glauconita seria esperada intemperizar-se rapidamente no ambiente de solos bem drenados, liberando K^+ mais rapidamente que ilita dioctaedral. De acordo com DIXON & WEEB (16) sob condições ácidas, as glauconitas intemperizam-se para formar caolinita e goethita.

Sabe-se da ocorrência generalizada de minerais potássicos silicatados nas mais variadas condições de solo, os quais são fontes potenciais de potássio às culturas. Porém, como RITCHEY (59) observa, a decomposição desses minerais pode se tornar apreciável somente sob concentrações da solução do solo tão baixas, que os tornam fontes inadequadas de K para sustentar uma agricultura normal. Também, para BRADY (8), os minerais potássicos silicatados são muito resistentes à intemperização, contribuindo com quantidades insignificantes de K ao solo durante uma estação de cultivo. Haja visto que os minerais trioctaedrais se intemperizam mais facilmente que os dioctaedrais, justificando o fato de que em solos "tropicais" predominam micas dioctaedrais como a muscovita, a qual é tida como fonte potencial de K, como os feldspatos potássicos, SCHROEDER (66).

Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas visando o aproveitamento agrícola de fontes de K de baixa solubilidade, no intuito de substituir fontes altamente solúveis. Para LIMA et alii (35), é recomendável avaliar a viabilidade agronômica do uso de rochas ricas em K, Mg e micronutrientes, devidamente trituradas, face à lixiviação de bases, precipitação intensa, e natureza das argilas de solos brasileiros as quais apresentam baixa CTC. KLAMT et alii (33) justificam a não utilização de minerais primários de potássio "in natura", pela pouca informação sobre suas eficiências agronômica e econômica, a exemplo de minerais fosfatados. Neste aspecto destaca-se falta de informações sobre a cinética de liberação de K^+ por esses minerais em ambiente de solo, bem como sobre a concentra-

ção de elementos tóxicos como o Al e de outros elementos como Ca , Na, Mg, Si, e micronutrientes, constituintes destes minerais.

Apreciações de FEIGENBAUM & SHAINBERG (22) sobre a cinética de liberação de K^+ para um dado mineral, evidenciam dois fatores importantes que controlam a taxa de liberação do K, quais sejam, o pH e outros potenciais iônicos do meio. Esses autores observaram que em soluções diluídas de sais e ácidas, a taxa de liberação dos íons octaédrais (Al^{3+} , Fe^{2+} e Mg^{2+}) excede a taxa de liberação de K^+ na illita, sugerindo que o processo de dissolução da argila predomina sobre o processo de difusão do K^+ a partir do lattice desse mineral, nessas condições.

Em trabalho de revisão, SCHROEDER (66) enumera vários fatores envolvidos na intemperização de feldspatos potássicos, os quais podem ser aplicados às micas, de certa forma. Ressalta-se que em condições de solo, para um dado mineral, é de grande importância um menor tamanho de partículas, um pH baixo, associado à demanda dos produtos de intemperização pelo solo e/ou culturas, a fim de ativar os processos de liberação do K.

Experimentos de campo e de casa de vegetação têm mostrado respostas variadas para rochas potássicas de baixa solubilidade , aplicadas simplesmente moídas. LIMA et alii (35), utilizando um solo com baixo teor de K, pH 4,4, argiloso, encontraram resposta da cana-de-açúcar a todas as rochas testadas (micaxisto, feldspato potássico, cloritaxisto e muscovita). Os materiais foram aplicados em forma de pó e acarretaram aumentos razoáveis de produção nas do

sagens 5, 10 e 15 t/ha. O cloritaxisto destacou-se das demais rochas, na dosagem de 5 t/ha.

Em outro experimento, em casa de vegetação, MIELNICZUK & KLAMT (48) trabalhando com 6 solos representativos do Rio Grande do Sul, corrigidos com calcário, e testando 10 rochas potássicas diferentes, observaram que a liberação de K das rochas pouco solúveis ocorre somente quando o teor de K disponível do solo está muito baixo. Nesse experimento, as plantas extraíram altas quantidades do K aplicado, somente nas formas solúveis (silvita e carnalita).

Especificamente com o verdete de Abaeté, trabalhos de casa de vegetação desenvolvidos por LOPES et alii (42) em 4 solos baixos em K disponível e pH, não mostraram resposta em produção de matéria seca do milho, em dosagens correspondentes a 5 e 19 t/ha da rocha moída. Esses resultados foram confirmados posteriormente, com os trabalhos de SANTOS (63) e EICHLER (18).

2.3. Calcinação a altas temperaturas e aumento da reatividade dos fosfatos naturais.

Vários pesquisadores têm procurado, a partir de rochas fosfatadas de baixa solubilidade, a obtenção de fertilizantes fosfatados mais reativos, os quais podem ser padronizados e utilizados com sucesso nas mais variadas condições. Haja visto que, à semelhança das rochas potássicas de baixa solubilidade, a eficiência dos fosfatos naturais pouco reativos está condicionada aos fatores de solo e cultura.

Os efeitos da calcinação e aditivos sobre as propriedades das rochas fosfatadas de Morocco e Utah foram intensamente investigados por FREEMAN et alii (25). Os resultados mostraram que a resposta à calcinação depende do tipo de rocha. Esses autores avaliaram mudanças em área específica, densidade e reatividade, bem como perdas de fósforo, flúor e carbonatos. A superfície específica caiu drasticamente em ambas as rochas nas temperaturas de 500-700°C, sugerindo uma consolidação dos grânulos das mesmas; temperatura acima de 800°C provocou diminuição dos poros grandes na estrutura de ambas as rochas. A densidade também caiu drasticamente na rocha Utah a 1150°C, sugerindo a ocorrência de um cristal de transição nesta temperatura. Uma queda de reatividade pela rocha de Morocco a 600-700°C correspondeu a um colapso estrutural; porém, a rocha de Utah mostrou um pico de aumento a 850-900°C. Nenhuma temperatura promoveu perdas de fósforo, porém, os teores solúveis em citrato tenderam a diminuir com aumentos de temperatura para a rocha de Morocco, ao passo que para a rocha de Utah ocorreu aumento a 850°C. Pouco flúor foi removido, ao passo que 2/3 dos carbonatos se perderam até a temperatura de 750°C em ambas as rochas. Os resultados de difratogramas de raios-X mostraram o desaparecimento do quartzo na faixa de 700-1050°C, porém, aumentos de temperatura até 1050°C corresponderam a picos de apatita mais ponteados nos difratogramas. Temperaturas mais elevadas promoveram a formação de estrutura vítrea.

Dentre os processos térmicos de alteração de rochas fosfatadas, BIXBY (6) relaciona os seguintes grupos: a) aqueles baseados

em reações químicas entre a rocha e um sal alcalino ou silicato de Mg; b) aqueles baseados na remoção de fluoreto por volatilização; c) e aqueles baseados na acidulação com silício na presença de carbono como agente redutor a altas temperaturas. Este último é usado para obter fósforo elementar para a indústria química. Os primeiros visam obtenção de produtos fosfatados mais reativos com fósforo solúvel em citrato.

Atualmente, segundo GUARDANI (28), os únicos termosfosfatos produzidos em escala industrial são o fosfato Rhenania, o qual é produto da fusão incipiente a 1100-1250°C de rocha fosfatada com carbonato de sódio e sílica, produzido na Alemanha; e o termofosfato magnesiano, produto de fusão a 1400-1500°C de rocha fosfatada com rocha magnesiana (serpentina ou olivina), produzido no Japão, Coréia do Sul, África do Sul, China e Brasil.

No processo de fusão ou calcinação de rochas fosfatadas, a adição de carbonatos tem o objetivo de aumentar a solubilidade do fosfato. De acordo com HOROWITZ et alii (29) a entrada de CO_3^{2-} na estrutura da apatita, concorre para o aumento em solubilidade da mesma. Todavia, o processo térmico exige temperaturas bem elevadas para que se possa quebrar a estrutura da apatita, lançando mão de um resfriamento rápido (choque térmico) aplicado ao estado de fusão; do contrário, o produto não apresenta alta solubilidade em citrato de amônio, como observado por FERREIRA & KAMINSKI (23), utilizando a fluorapatita de Patos de Minas calcinada a 900°C.

De acordo com FREEMAN et alii (25), processos de calcinação com temperaturas acima de 1000-1100°C removem o flúor da fluorapatita, ocorrendo reações químicas, resultando em maior disponibilidade do fosfato. A importância da defluorização das fluorapatitas nos processos de calcinação é sumarizada nas conclusões do "Bureau of Chemistry and Soils" do Departamento de Agricultura dos EUA, segundo revisão de GUARDANI (28) sobre a evolução das pesquisas em termofosfatos, quais sejam: a) a presença do fluorfosfato de cálcio é responsável pela baixa solubilidade em citrato e baixa eficiência do fósforo como fertilizante na rocha fosfatada bruta; b) não há qualquer aumento na solubilidade do fósforo em citrato até que todo o flúor que excede aquele combinado na forma de fluorfosfato de cálcio, e todo o equivalente a um dos átomos de flúor contido no fluorfosfato seja volatilizado; a partir daí, a percentagem de fósforo solúvel em citrato é diretamente proporcional à percentagem de volatilização do segundo átomo de flúor do fluorfosfato; c) com o resfriamento lento do produto até 1200°C ocorre grande reversão na solubilidade do fósforo, devido a uma transformação enantiotrópica do $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ cerca dessa temperatura, passando a uma forma de menor solubilidade, daí a importância do resfriamento rápido.

De acordo com LEHR (34), reações térmicas na faixa de 1000-1450°C são capazes de destruir a estrutura da apatita, eliminando fração substancial do fluoreto e seguindo recombinações do PO_4^{3-} em formas fosfatadas mais reativas. Em rochas com teores altos de impurezas, podem acarretar decomposição parcial ou reorganização do fosfato, ainda que em formas de maior reatividade que o produto ori

ginal. Esse mesmo autor lista vários reagentes aditivos, inorgânicos, usuais na decomposição de apatitas, podendo se destacar os seguintes: calcita; calcário dolomítico; gipsita; quartzo; opala; feldspato; olivina e serpentina.

Os resultados de MATTOS (47), FERREIRA & KAMINSKI (23), em testes com fosfatos de Araxá e de Patos de Minas, mostraram que a calcinação dessas rochas a temperaturas até 600-900°C, sem o emprego de aditivos, é capaz de elevar a solubilidade do fósforo em ácido cítrico apenas até certos níveis. Os resultados mais espetaculares foram obtidos por MATTOS (47) com a apatita de Araxá calcinada a 600°C com tempo de exposição de 60 minutos, situação em que aproximadamente 50% do fósforo total do fosfato de Araxá foi convertido em fósforo solúvel em ácido cítrico a 2%. Nessas condições, o fosfato de Patos de Minas reagiu em menor intensidade à calcinação, fato comprovado posteriormente por FERREIRA & KAMINSKI (23), onde o máximo de solubilização (6,2% de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico) ocorreu a 600°C com 120 minutos de exposição.

Há evidências, a partir desses resultados, de uma reversão da solubilidade a temperaturas e tempos de exposição um pouco maiores, correspondendo a menores solubilidades do fósforo em ácido cítrico. Vale ressaltar que a cultura da soja não respondeu ao fosfato de Patos de Minas calcinado, conforme FERREIRA & KAMINSKI (23), porém, ambos, fosfato de Araxá e fosfato de Patos de Minas responderam à calcinação em testes com a cultura do sorgo, conforme MATTOS (47). Esses resultados não são contraditórios, visto que o solo cultivado com sorgo possuía pH baixo (pH 4,7), teores baixos de Ca

e não recebeu calagem; já o solo cultivado com soja recebeu previamente calagem a pH 6,0 de acordo com o método SMP.

Produtos fosfatados calcinados, os quais são insolúveis em água mas solúveis em citrato, têm sido utilizados largamente, apresentando eficiência comparável a fontes solúveis, podendo ser superiores a estas em solos ácidos sem calagem e funcionarem como corretivos de fósforo e da acidez do solo, SANCHEZ & UEHARA (62).

CHIEN (11) trabalhando com um solo ácido (pH 4,5), de alta capacidade de retenção de fósforo, verificou que o fósforo solúvel em água foi reduzido drasticamente para todos os fosfatos testados, após uma semana de incubação dos mesmos com o solo. A recuperação do fósforo solúvel em água do superfosfato simples foi de apenas 3%. Porém, o fósforo solúvel em água do fosfato Rhenania, após uma semana de incubação, foi superior àquele do superfosfato, ainda que fosfato Rhenania presente (sob condições naturais) fósforo insolúvel em água. Ademais, os teores de fósforo solúvel em água no solo tratado com fosfato Rhenania e superfosfato juntamente, foram maiores do que o esperado tomando por base os seus efeitos isolados, mostrando interação positiva dessas fontes. A aplicação de Na_2SiO_3 à taxa de 150 ppm de Si, reduziu drasticamente a retenção de fósforo nesse solo e elevou o pH do mesmo, justificando o desempenho do fosfato Rhenania pelo efeito do componente silicato em ocupar sítios de retenção de fósforo, associado a "efeito de calagem" do mesmo. Esses efeitos foram isolados, incubando amostras de solo com superfosfato adicionado de Na_2SiO_3 e $\text{Ca}(\text{OH})_2$, separadamente. O autor verificou, ainda, aumentos equivalentes do pH do solo, porém,

o Na_2SiO_3 tendeu a aumentar os níveis de fósforo solúvel em água com o tempo de incubação, ao passo que o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ reduziu o fósforo solúvel em água. Como resultado, maiores níveis de fósforo solúvel em água foram obtidos em todas as taxas de aplicação de Na_2SiO_3 e $\text{Ca}(\text{OH})_2$, conjuntamente.

Estudando os efeitos de CaCO_3 e CaSiO_3 sobre a retenção de íons em um oxisol, SMYTH & SANCHEZ (67) verificaram que o CaSiO_3 , além de aumentar o pH do solo, é capaz de aumentar a carga negativa, pela adsorção específica de silicato.

Diversos estudos têm mostrado que a calagem normal diminui a disponibilidade de fósforo em alguns solos ácidos, devido à provável retenção de fósforo pelos hidróxidos de Fe e de Al imediatamente precipitados após essa prática, AMARASIRI & OLSEN (3) e MOK WUNNYE (49), ou ainda pela oclusão do fósforo pelos hidróxidos de Fe e de Al, MURRMANN & PEECH (50). De acordo com CHIEN (11) os efeitos positivos do SiO_3^{2-} sobre a disponibilidade do fósforo aplicado não é reduzir a formação de fosfatos de cálcio insolúveis, mas reduzir a retenção de fósforo pelos precipitados imediatos de hidróxidos de Fe e de Al. Esses precipitados, de acordo com McKEAGUE & CLINE (44) adsorvem um máximo de sílica em pH 8-9, sendo que em valores menores de pH a adsorção diminui, porém a pH tão baixo quanto 4,5, a 25°C, ainda ocorre alta adsorção.

O termofosfato magnesiano (Yoorin) tem se comportado de modo equivalente ao superfosfato triplo em experimentos de relativa longa duração, como no trabalho de Korndorfer, citado por KAMIN-

SKI (30), o qual trabalhou com dois solos do Rio Grande do Sul, de características diferentes, numa sucessão de quatro cultivos. Resultados semelhantes foram observados em solo sob "cerrado", segundo GOEDERT & LOBATO (26), onde o desempenho desse termofosfato em três cultivos sucessivos de trigo, soja e arroz foi equiparável, e até superior para a soja, ao do superfosfato triplo. Segundo EMBRAPA (19) o termofosfato magnesiano mostra também um efeito corretivo da acidez do solo, provavelmente em virtude do seu conteúdo em silicato de magnésio. Por outro lado, KAMINSKI (30) trabalhando com três solos com diferenças texturais e químicas contrastantes, em casa de vegetação, com a cultura do sorgo, verificou um desempenho do termofosfato magnesiano (Yoorin) superior ao fosfato de Araxá parcialmente acidulado, porém inferior ao superfosfato simples que por sua vez foi equivalente a um outro termofosfato testado (termofosfato 0581 Arafertil).

2.4. Calcinação a altas temperaturas e aumento da reatividade de rochas potássicas de baixa solubilidade.

O meio mais eficaz de aumentar a reatividade de rochas potássicas de baixa solubilidade, é a introdução de uma fonte externa de energia na estrutura cristalina do mineral, desestabilizando-o a certo nível. Tem sido dada atenção, ao nível de pesquisa, a dois processos de tratamento de rochas potássicas com esse objetivo. Um desses processos consiste em reagir os materiais testados com ácidos minerais fortes, como nos trabalhos de SANTOS (63) e DUTRA (17), dentro dos princípios de intemperização de rochas pelos pro-

cessos de acidólise, segundo SCHROEDER (66). Processos térmicos têm sido também pesquisados, impulsionados por relativa simplicidade operacional e aptidão à utilização de energia elétrica em altos fornos, adaptáveis para tal.

De acordo com FRAYA (24) a Itália resolveu o problema técnico de aproveitamento da leucita, durante o período de 1939-1945, obtendo desta o cloreto de potássio, alumina pura e sílica gelatinosa.

Segundo Mangini, citado por FRAYA (24), reagindo calcário e leucita, moídos, a uma temperatura de 1300°C, obtem-se pela desagregação do silicato, aluminato de potássio, silicato básico de cálcio e gás carbônico; após o resfriamento com água, a alumina pura é obtida por precipitação com gás carbônico e o carbonato de potássio é obtido por evaporação da solução.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) desenvolveu uma série de estudos de calcinação de rochas potássicas com calcário e gesso, segundo relato de VALARELLI & GUARDANI (70). As rochas eram constituídas de dois tipos de amostras: um tipo com teores de ortoclásio em torno de 50%, leucita entre 15-18% e sericita entre 15-27%, com teor total de K_2O entre 14-16%; e outro tipo com ortoclásio entre 60-65% e sericita-caulinita entre 22-29%. Foram preparadas misturas com diferentes formulações, as quais foram calcinadas a temperaturas entre 1000-1200°C, por 30 minutos. Os resultados mais promissores apresentaram recuperação do K_2O acima de 90% (extraído com água em ebulição por 6 horas), os

quais provieram de tratamentos com relações mássicas calcário/rocha potássica de 1/1, tratados a temperaturas entre 1050-1150°C.

KLAMT et alii (33) estudaram o efeito da calcinação com CaCO_3 na taxa de liberação de elementos, mediante equilíbrios sucessivos em água, de três rochas diferentes: hauntyta fonolito, hornblenda sienito gnáissico; e sienito nefelino. No processo de calcinação, utilizaram a relação rocha/ CaCO_3 de 3/1, cuja mistura foi passada em peneira de 200 malhas/polegada e submetida a aquecimento a 1000°C por 4 horas. Os resultados mostram efeito positivo da calcinação para o sienito nefelino, e negativo para hauntyta fonolito e hornblenda sienito gnáissico. De acordo com esses autores a redução na liberação de elementos nestas últimas rochas deve se relacionar à fusão e precipitação de minerais, particularmente sílica, aumentando a estabilidade das mesmas.

Resultados semelhantes foram obtidos por FAQUIN (20) com o processo de calcinação, elevando a altas temperaturas diferentes misturas de sienito nefelino com calcário dolomítico. Esse autor concluiu que o efeito da temperatura de calcinação teve uma tendência definida apenas na proporção 1/1 entre rocha potássica e calcário dolomítico, verificada em testes sucessivos com a cultura do milho em casa de vegetação. Nessas circunstâncias, a temperatura de calcinação a 1100°C foi superior no primeiro cultivo; entretanto, com a sucessão dos cultivos, a temperatura de fusão superou as demais.

BRADLEY & GRIM (7) estudaram o efeito do calor sobre as propriedades da ilita. Os autores observaram perda de água de constituí

ção no lattice desse mineral entre 200-600°C, e perda do caráter micáceo, lentamente após 850°C, completando-se a 1000°C. observaram, ainda, a formação de vidro a 950°C, formando o mineral mullita a 1100°C.

Mais especificamente, em relação ao verdete de Abaeté EICHLER (18) avaliou o efeito da calcinação em três cultivos sucessivos, usando milho como planta teste sob condições de casa de vegetação. O trabalho foi desenvolvido nas relações rocha/calcário magnésiano de 1/1, 3/1 e 1/0 em temperaturas ambiente, 800°C e 1100°C. O autor concluiu que, sem calcário o verdete de Abaeté não liberou potássio em forma assimilável pela cultura em qualquer das temperaturas; porém, a mistura na relação 1/1, calcinada a 1100°C, foi considerada uma fonte alternativa de potássio para a cultura do milho, além de apta a fornecer cálcio, magnésio e corrigir a acidez do solo.

2.5. Solubilidade de rochas fosfatadas, "in natura" ou submetidas a tratamentos: avaliações do fósforo disponível.

Diversos métodos têm sido usados para avaliar o potencial agronômico de fontes de fósforo de baixa solubilidade em água. Existem métodos diretos, os quais são aplicados para medir a solubilidade relativa da fonte de fósforo, mediante reação desta com uma solução extratora de fósforo. Além destes, o potencial agronômico das fontes fosfatadas pode ser medido pelos produtos de reação destas no solo, pela resposta da cultura a sua aplicação ou mesmo por

método de extração que correlacione com o fósforo extraído ou resposta da cultura à fertilização fosfatada.

De acordo com CHIEN & HAMMOND (13), o potencial agrônômico de fosfatos de rocha tem sido avaliado pela solubilidade do fósforo em citrato neutro de amônio nos Estados Unidos na América, em ácido cítrico a 2% no Brasil, e em ácido fórmico a 2% que é o solvente padrão no Mercado Comum Europeu. A solubilidade em citrato neutro de amônio tem sido intensivamente investigada em pesquisas da TVA segundo KHASAWNEH & DOLL (32), sendo as principais conclusões as seguintes: a) gesso, calcita e dolomita, como minerais acessórios, consomem uma parte do reagente, subestimando a medida de solubilidade, e justificando a necessidade de descarte do primeiro filtrado na análise; b) a presença de Al solúvel em ácido, diminui a solubilidade em citrato neutro de amônio, porém causa aumento drástico da solubilidade em ácido cítrico 2%; c) a quantidade de fósforo dissolvido não é sensível a variações de teores de apatita nas rochas, sendo necessário determinar o índice de solubilidade absoluta em citrato pela fórmula, % P_2O_5 solúvel em citrato segundo a AOAC/% P_2O_5 teórico da apatita em questão.

O íon citrato tem a propriedade de formar complexos com cátions polivalentes, liberando o fósforo ligado a esses cátions ou prevenindo a reabsorção do fósforo pelos mesmos no momento da extração, KAMPRATH & WATSON (31). A ação solubilizante das soluções de citrato de amônio e de ácido cítrico sobre fertilizantes fosfatados foi investigada por ALCARDE & PONCHIO (1). Esses autores citam as constantes, de estabilidade dos complexos que o ácido cítri-

co e seus íons podem formar com alguns cátions, em função do pH da solução. Em pH 7,0 do citrato de amônio, predomina citrato⁻³ o qual na presença de cátions polivalentes forma complexos mais estáveis na forma Al (OH)-citrato, Fe-citrato, Al-citrato e Cu-citrato. Por outro lado, em pH 2-3 do ácido cítrico a 2%, ocorre o predomínio de Fe-H₂ citrato, Cu-H₃ citrato, Ca-H₃ citrato, Ca-H₂ citrato, Mn-H₂ citrato e Mg-H₂ citrato. Porém, as constantes de estabilidade desse último grupo de complexos é muito inferior ao primeiro grupo.

Os produtos de reação dos fosfatos de rocha têm sido utilizados como medida da taxa de dissolução desses materiais quando aplicados ao solo, KHASAWNEH & DOLL (32). De acordo com as revisões desses autores, essas medidas podem ser feitas pelos seguintes métodos: a) fracionamento do fósforo no solo — aumentos nas frações Al-P e Fe-P são tidos como produtos de reação do fosfato; b) extração de acordo com o método de Bray & Kurtz (Bray I) que mede predominantemente Al-P, mais alguma fração de Ca-P; c) extração alcalina de acordo com Olsen et alii (Olsen) — mede Al-P e Fe-P como produtos de reação, reagindo pouco com a apatita; d) extração com resinas trocadoras de ânions — esse método, juntamente com aquele de diluição isotópica com fósforo marcado devem ser interpretados com cautela; pois substancial quantidade de fósforo é extraído quando o fosfato de rocha é adicionado a um sistema de resina trocadora de ânions; e) medidas de mudanças de cálcio trocável — em valores de pH menores que 6,5 ocorre a dissolução da apatita com conseqüente formação de compostos precipitados de Al-P e Fe-P, sendo que o Ca²⁺ liberado permanece na forma trocável.

A dissolução dos fosfatos "North Carolina" e "Patos de Minas" foi investigada por SMYTH & SANCHEZ (67) em 7 solos ácidos, de alta capacidade de retenção de fósforo sob "cerrado". Esses autores observaram que mudanças em Olsen-P foram mais indicativas da dissolução dos fosfatos de rocha do que mudanças em resina-P. Enquanto os valores máximos de Olsen-P foram observados no final do período de incubação (6 meses), os valores máximos de resina-P foram obtidos durante os primeiros períodos de incubação (4-43 dias). Por outro lado, os níveis de Ca trocável aumentaram com o tempo de incubação, e naqueles solos com maior capacidade de retenção de fósforo. Ainda que o alto pH do Olsen (pH 8,5) deva ser mais efetivo em extrair Fe-P do que a resina, foi observado menores valores de Olsen-P naqueles solos de alto conteúdo de argila e óxidos de ferro livres e conseqüentemente, maior capacidade de retenção de fósforo. Dos dados de SMYTH & SANCHEZ (67) pode-se depreender que os métodos da resina e de Olsen poderiam correlacionar melhor com o fósforo disponível para as culturas, discriminando razoavelmente o fósforo lábil da fração não lábil.

Os métodos que procuram avaliar a dissolução dos fosfatos no solo envolvendo estimativas de compostos fosfatados neles formados podem determinar porções dos fosfatos que não reagiram com os componentes do solo, ou apenas parte do fósforo lábil, KAMINSKI (30). Estes métodos são mais correlacionados com a disponibilidade do elemento para as culturas.

A adequabilidade de um teste de solo em prever a disponibilidade do fósforo às culturas pode ser avaliada correlacionando o fósforo extraído com parâmetros da planta tais como produção e absorção desse nutriente, KAMPRATH & WATSON (31). Esses autores esclarecem sobre as propriedades dos métodos utilizados para medir a disponibilidade do fósforo no solo no momento da extração. Assim, para o método de Carolina do Norte ($\text{HCl } 0,05\text{N} + \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,025\text{N}$), as reações no processo de extração do fósforo da fase sólida do solo podem ser entendidas pela ação solvente da solução extratora, com pH geralmente de 2-3, sendo que os produtos de maior solubilidade estão na ordem $\text{Ca-P} > \text{Al-P} > \text{Fe-P}$; os íons Cl^- têm pouco efeito sobre a extração, mas o SO_4^{2-} tende a substituir fosfatos adsorvidos, e reduzir a reabsorção do fósforo dissolvido. Para o método de Bray 1 ($\text{HCl } 0,025\text{N} + \text{NH}_4\text{F } 0,03\text{N}$) destaca-se o papel do F^- como íon complexante de cátions ligados ao fosfato, sendo efetivo em complexar Al, desestabilizando as formas Al-P e CaHPO_4 ; no método de Olsen ($\text{NaHCO}_3 \text{ } 0,5\text{M}$ pH 8,5) os íons HCO_3^- tendem a substituir fosfatos adsorvidos ou comportar como complexantes embora reajam menos vigorosamente que F^- ; os íons OH^- promovem a hidrólise de cátions ligados ao fosfato, sendo muito efetivos em extrair Al-P e, em certo nível, Fe-P.

Vale ressaltar, de acordo com KAMPRATH & WATSON (31) que os métodos de Olsen e Bray 1 têm merecido maior atenção, pois ambos têm estimado satisfatoriamente a disponibilidade de fósforo em condições muito variáveis de solo, com propriedades químicas diversas. O método Carolina do Norte não tem servido para solos de pH

7,0 ou superior, devido à exaustão do ácido pelo CaCO_3 , ou CTC alta, ou ainda, pela extração de Ca-P não disponível para a planta; ademais, solos argilosos com alto teor de óxidos de Fe tendem a neutralizar a solução extratora e reduzir a quantidade de fósforo extraído, porém, em solos de mineralogia caolinítica, menos argilosos, com conseqüente baixa CTC, esse método tem dado correlações mais altas. Para solos que receberam fosfatos de rocha, o método de Carolina do Norte superestima os teores de fósforo devido solubilizar partículas de rocha que não reagiram no solo (26, 56, 57).

2.6. Índices de disponibilidade do potássio no solo e avaliação do potencial agrônômico de rochas potássicas de baixa solubilidade "in natura" ou submetidas a tratamentos.

Uma grande porção (5000-25000 ppm) do K nos solos está presente na forma de K estrutural dos minerais potássicos tais como micas, feldspatos e minerais micáceos; sendo que uma pequena porção (40-600 ppm) está na forma de íons trocáveis; e, uma extremamente pequena parte (1-10 ppm) está presente como sal solúvel, PRATT (54) e BARBER et alii (5). De acordo com BARBER et alii (5), ainda que estas formas tendam a manter em equilíbrio dinâmico, a taxa de passagem da forma mineral para as mais disponíveis é tão lenta que usualmente o equilíbrio não é mantido. Porém, o potássio trocável equilibra-se facilmente com aquele em solução. Assim, o K total em solos não tem valor como um índice de disponibilidade de K para as plantas, PRATT (54).

Por outro lado, a disponibilidade de K nos solos é avaliada na quase totalidade das situações pelo K "total" extraído com uma solução neutra de acetato de amônio, a qual avalia o K solúvel em água + K trocável, PRATT (54). Esse autor esclarece que a extração com H_2SO_4 diluído, a frio, também é um índice adequado do K disponível, o qual remove aproximadamente as mesmas quantidades de K, na maioria dos solos, como o faz a extração com acetato de amônio neutro 1N. Assim, o extrator duplo-ácido de Carolina do Norte [HCl 0,05N + H_2SO_4 0,025N (Mehlich)] tem sido usado em grande escala em análises de rotina, RITCHEY (59) e FASSBENDER (21).

Critérios de físico-química também podem ser usados para avaliar adequadamente as formas de K em solos, como apreciado por FASSBENDER (21). Para BARBER et alii (5) o K disponível é melhor avaliado pela relação dos parâmetros Quantidade/Intensidade (relação Q/I). Esses autores esclarecem que a concentração de K na solução do solo é o melhor parâmetro para avaliar a disponibilidade imediata desse nutriente às culturas; ademais, para um ciclo normal de culturas anuais, verifica-se maior correlação do K absorvido com o K trocável, pelo fato deste último governar aquele K em solução.

A extração do solo com HNO_3 1N a quente, tem sido usada com sucesso, como um índice para avaliar a taxa de liberação de K a partir de formas não trocáveis, PRATT (54). De acordo com FASSBENDER (21), mediante extrações sucessivas do solo com HNO_3 1N, obtém-se uma fração de K denominada "K não trocável", a qual pode ser diferenciada em duas formas: o "K disponível à cultura a longo prazo", obtido nas primeiras extrações com HNO_3 ; e o "K não disponí -

vel" ou de taxa constante de liberação. Segundo BARBER et alii (5) o método químico de extração de K com HNO_3 a quente por 10 minutos como proposto por Wood e De Turk em 1940 é citado por PRATT (54) extrai quantidades de K similares às aquelas removidas por 8- 15 cultivos sucessivos no solo.

Na tentativa de avaliar a eficiência agronômica de rochas potássicas de baixa solubilidade ou de materiais obtidos por tratamentos aplicados a estas, diversos métodos têm sido utilizados. Tem sido testada a solubilidade em ácido cítrico a 2% (relação 1:100), como no trabalho de NEPTUNE et alii (51) e em estudos desenvolvidos no IPT segundo VALARELLI & GUARDANI (70). Também, a solubilidade em água conforme metodologia utilizada para fertilizantes potássicos convencionais descrita por VETTORI (71) e utilizada por outros autores (20, 51, 63): ou ainda, mediante estudos de liberação de K em água, com renovação da solução, como nos trabalhos de KLAMT et alii (33) e FAQUIN (20).

Porém, a maneira mais segura de avaliar a eficiência de fontes potássicas em suprir K às plantas consiste em medir a quantidade de K absorvido por cultivos sucessivos tratados com as mesmas, MIELNICZUK & KLAMT (48). Para tanto, tem sido usado cultivar o solo em vasos por vários cultivos sucessivos com uma planta teste, tal como o milho. O verdete de Abaeté "in natura" e calcinado foi investigado por EICHLER (18) e SANTOS (63) com esse objetivo, seguindo a estratégia de promover o crescimento de uma superpopulação de plantas para avaliar a máxima quantidade de K disponível em 2-3 cultivos sucessivos de milho.

2.7. Considerações gerais

Os resultados da pesquisa têm comprovado que as rochas potássicas e fosfatadas de baixa solubilidade, presentes em várias regiões do território nacional, não podem ser utilizadas como fertilizantes, senão em situações muito específicas. A eficiência agrônômica dessas rochas está na dependência dos fatores de solo e/ou culturas, não satisfazendo as condições exigidas para uma adequada produtividade, especialmente para culturas anuais.

Por outro lado, surgem perspectivas da utilização dessas rochas mediante alterações em sua natureza mineralógica, caracterização posterior dos produtos de alteração e padronização dos mesmos. A tentativa de obter um produto composto, com teores adequados de Ca, Mg, K e P, parece promissora mediante o tratamento térmico a altas temperaturas, o qual aplicado na presença de um material "fundente" pode provocar grandes alterações nos materiais originais.

1985 - JAYRADO SYSTEMS

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.



3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Preparo e composição química das misturas de verdete de Abaeté com fosfato de Araxá e calcário magnesiano.

Verdete de Abaeté (VA), fosfato de Araxá (FA) concentrado e calcário magnesiano (CM) foram analisados quimicamente (Quadro 2). Após moagem, os materiais foram passados em peneira nº 200 da série Tyler (0,074 mm). Preparou-se uma mistura com relação mássica 1/1 com VA e FA, a qual recebeu proporções de CM, conforme Quadro 3, com homogeneização em peneira número 100 da mesma série. Procedeu-se aos tratamentos térmicos* das misturas, utilizando-se para as amostras tratadas a 1100°C forno resistivo tipo mulfla com aquecimento lento a 1100°C, patamar de uma hora, e resfriamento das amostras dentro do forno; para as amostras submetidas à fusão utilizou-se cadinho de grafite, atmosfera de argônio com pressão de 600 mm Hg e lingoteira de cobre para resfriamento brusco.

Após os tratamentos térmicos, os materiais foram novamente moídos e passados em peneira nº 200 da série Tyler (0,074mm) para análise posterior, conforme Quadro 3.

*Tratamentos realizados no CETEC (Belo Horizonte-MG).



SECRETARIA DE ECONOMIA

Relatório de Atividades da Comissão de Acompanhamento e Controle Financeiro do Crédito (CACF) - 1964
 O CACF foi criado em 1963, com o objetivo de acompanhar e controlar o fluxo de recursos financeiros destinados ao crédito rural, visando à eficiência e à aplicação adequada dos recursos.
 Durante o ano de 1964, a Comissão realizou diversas reuniões e trabalhos para analisar o desempenho das instituições financeiras e dos programas de crédito.
 Os principais aspectos analisados foram:
 - O crescimento do crédito rural, que atingiu níveis recordes em 1964.
 - A distribuição do crédito entre as diferentes regiões e tipos de cultivo.
 - O desempenho das instituições financeiras, especialmente em relação à aplicação dos recursos.
 - O impacto do crédito na produção e na renda dos produtores rurais.
 Os resultados das análises realizadas pelo CACF em 1964 são os seguintes:
 - O crédito rural cresceu em 15% em relação ao ano anterior.
 - Houve uma melhoria na distribuição do crédito, com maior ênfase nas regiões menos desenvolvidas.
 - O desempenho das instituições financeiras melhorou, com maior aplicação dos recursos em projetos produtivos.
 - O impacto do crédito na produção e na renda dos produtores rurais foi positivo, contribuindo para o desenvolvimento da agricultura.
 Com base nos resultados obtidos em 1964, a Comissão recomenda a continuidade das políticas de crédito rural, com ênfase na eficiência e na aplicação adequada dos recursos.

QUADRO 2. Resultados das análises químicas do verdete de Abaeté (VA), fosfato de Araxá concentrado (FA) e calcário magnesiano (CM). ESAL, Lavras-MG. 1984.

Materiais de mistura	Análises químicas					
	CaO <u>a/</u>	MgO <u>a/</u>	K ₂ O <u>a/</u>	P ₂ O ₅ <u>a/</u>	K ₂ O <u>b/</u>	P ₂ O ₅ <u>c/</u>
	----- % -----					
VA	0,1	2,8	11,4	0,1	2,4	-
FA	30,7	< 0,1	< 0,1	24,0	-	5,0
CM	39,3	12,9	-	-	-	-

a/ Teores totais - análises realizadas pela GEOSOL (Belo Horizonte-MG)

b/ Solúvel em HNO₃ 1N, a quente (relação 1:50), adaptado de PRATT (54)

c/ Solúvel em ácido cítrico a 2%, segundo VETTORI (71).

QUADRO 3. Resultados das análises químicas das proporções CM na mistura VA + FA (1/1) , submetidas à temperatura ambiente, 1100°C e fusão. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamento térmico	Proporções de calcário na mistura	CaO <u>a/</u>	MgO <u>a/</u>	K ₂ O <u>a/</u>	P ₂ O ₅ <u>a/</u>	K ₂ O <u>b/</u>	P ₂ O ₅ <u>c/</u>
		%					
Temperatura ambiente	0	15,4	1,4	5,7	12,0	1,2	2,5
	10	17,7	2,6	5,1	10,8	1,1	1,8
	20	20,1	3,7	4,6	9,6	1,0	1,2
	30	22,5	4,9	4,0	8,4	1,0	0,9
	40	24,9	6,0	3,4	7,2	0,8	0,6
	50	27,3	7,2	2,8	6,0	0,6	0,5
Calcinação a 1100°C	0	17,3	1,5	5,6	13,6	0,9	1,8
	10	19,9	2,8	5,2	12,4	0,9	1,0
	20	23,3	3,3	5,1	10,9	1,4	0,9
	30	27,1	5,1	4,6	10,0	1,7	0,6
	40	31,4	7,0	3,8	9,1	1,9	0,4
	50	35,6	8,5	3,5	7,9	2,5	0,3
Fusão	0	17,3	1,8	5,8	11,3	3,1	0,4
	10	20,5	3,0	5,4	11,2	5,4	1,0
	20	24,5	4,5	5,3	10,8	5,3	1,9
	30	27,5	6,1	4,7	10,6	4,7	4,3
	40	33,1	7,1	4,2	8,7	4,2	4,4
	50	38,3	9,5	4,1	8,5	1,8	4,0

a/ Teores totais - análises realizadas pela GEOSOL (Belo Horizonte-MG)

b/ Solúvel em HNO₃ 1N a quente (relação 1:50), adaptado de PRATT (54)

c/ Solúvel em ácido cítrico a 2%, segundo VETTORI (71).

3.2. Material do solo

Utilizou-se material da camada 0-20 cm de um solo sob vegetação de cerrado, coletado em um único local do município de Itumirim-MG, classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solo como Latosolo Vermelho-Amarelo Câmbico*, distrófico, de textura média e enquadrado na Classificação Americana de 1975 (Soil Taxonomy) no grande grupo Acrustox.

O material do solo coletado foi seco ao ar, passado em peneira de 2 mm de malha e homogeneizado, sendo neste momento, retirada uma amostra para análises químicas e físicas (Quadro 4).

3.3. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, esquema fatorial $6 \times 3 \times 2 + 2$ adicionais, com 3 repetições. Os fatores consistiram de proporções de CM (0, 10, 20, 30, 40 e 50%) com uma mistura de partes iguais de VA e FA; tratamentos térmicos (temperatura ambiente calcinação, a 1100°C e fusão); e níveis de adubação (50 e 100 ppm de K) com base no K solúvel em HNO_3 1N a quente. Um tratamento adicional (completo), recebeu 200 ppm de P e 100 ppm de K nas formas de fosfato de amônio p.a a cloreto de potássio p.a, respectivamente. O outro tratamento adicional (testemunha) consistiu de P e K ausentes, mas recebeu os demais nutrientes como todos os tratamentos.

*Classificado por ANDRADE, H. - DCS-ESAL

QUADRO 4. Resultado das análises químicas e físicas no material do solo da camada de 0-20 cm. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Características	Níveis
QUÍMICAS:	
pH em H ₂ O <u>a/</u>	5,3
pH em HCl <u>a/</u>	4,3
Ca (meq/100 g) <u>a/</u>	0,3
Mg (meq/100 g) <u>a/</u>	0,1
Al (meq/100 g) <u>a/</u>	0,5
P solúvel no Mehlich (ppm) <u>b/</u>	1,0
K solúvel no Mehlich (meq/100 g) <u>b/</u>	0,08
K solúvel em HNO ₃ 1N a quente (meq/100 g) <u>b/</u>	0,13
K total (meq/100 g) <u>b/</u>	2,89
Matéria orgânica (%) <u>c/</u>	2,40
Ataque sulfúrico <u>a/</u>	
SiO ₂ (%)	10,1
Al ₂ O ₃ (%)	13,0
Fe ₂ O ₃ (%)	2,9
TiO ₂ (%)	0,21
P ₂ O ₅ (%)	0,01
FÍSICAS: <u>d/</u>	
Argila (%)	25,0
Limo (%)	8,1
Areias (%)	66,9

a/ Segundo métodos descritos por VETTORI (71)

b/ Segundo PRATT (54)

c/ Segundo ALLISON (2)

d/ Análises realizadas no Laboratório de Física do solo do Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

3.4. Experimento em casa de vegetação

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras-ESAL, no período de novembro de 1983 a abril de 1984.

As parcelas foram constituídas de vasos plásticos, contendo 3 kg de material de solo seco ao ar (T.F.S.A).

A calagem foi feita utilizando-se 3,6 g de CaCO_3 p.a e 1,0g de Mg CO_3 p.a por vaso, procurando manter uma relação Ca/Mg adequada para esse solo, segundo ARANTES (4), e calculada com base nos teores de Al e Ca + Mg trocáveis, seguindo-se as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (15). O material do solo permaneceu em incubação por um período de 40 dias em umidade de aproximadamente 70% do volume total de poros.

Os resultados das análises químicas do material do solo, antes e após a calagem encontram-se no Quadro 5.

Os materiais obtidos das misturas de rocha tratadas termicamente foram aplicados ao material do solo na forma de pó, sendo as quantidades aplicadas calculadas tomando como base os teores de K solúvel em HNO_3 1N a quente, aplicando-se dosagens equivalentes a 50 ppm de K (nível 1) e 100 ppm de K (nível 2). Esses materiais foram testados especialmente como fontes de K e P em comparação com os tratamentos adicionais, os quais receberam P e K das fontes $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ p.a e KCl p.a, respectivamente, diluídas em água e homogeneizadas no volume total do vaso.

QUADRO 5. Resultados das análises químicas no solo original, e após o período de incubação com carbonatos de Ca e de Mg. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Determinações químicas	Solo original	Após incubação
pH H ₂ O	5,30	6,90
pH KCl	4,30	6,30
Al ³⁺ (meq/100 g)	0,50	0,10
Ca ²⁺ (meq/100 g)	0,30	2,50
Mg ²⁺ (meq/100 g)	0,10	0,58
K ⁺ disponível (ppm)	30,00	28,00
K ⁺ solúvel em HNO ₃ 1N (ppm)	50,00	51,00
P - Mehlich (ppm)	1,00	1,00
P - Bray I (ppm)	-	1,10

As quantidades totais de Ca, Mg, K e P aplicados em cada tratamento, estão apresentadas no Quadro 6; e mais explicitamente na Figura 1, cujos pontos são uma média dos níveis de adubação. Resalta-se que o tratamento completo recebera K e P para satisfazer a condição ideal de produção, seguindo as recomendações de MALAVOLTA (45), e cujos níveis totais desses nutrientes não correspondem àqueles dos demais tratamentos, Quadro 6.

Procedeu-se o plantio da cultura, imediatamente após aplicação dos tratamentos. Foram realizados 2 cultivos sucessivos de 45 dias cada, utilizando como planta indicadora o milho (Zea mays L.) híbrido Agrocere AG-103, semeando-se 8 sementes por vaso, bastando para 5 plantas por vaso uma semana após a germinação.

A adubação básica de todos os tratamentos para o primeiro cultivo consistiu-se de 300 ppm de N, sendo 1/3 aplicado no plantio e o restante em duas aplicações quinzenais; 50 ppm de S; 0,5 ppm de B; 1,5 ppm de Cu; 0,1 ppm de Mo; e 5 ppm de Zn. Os sais contendo esses nutrientes foram diluídos em água e homogeneizados no volume total do vaso, seguindo recomendações de MALAVOLTA (45) para ensaios com milho em casa de vegetação. Para o segundo cultivo foram aplicados 50 ppm de N, juntamente com 30 ppm de S e 5 ppm de Zn no plantio, e mais 50 ppm de N em cobertura após 15 dias.

Durante o período de cultivo a umidade foi mantida a 60% do volume total de poros (VTP), aferida por meio de pesagens diárias dos vasos, completando-se o peso com água desmineralizada.

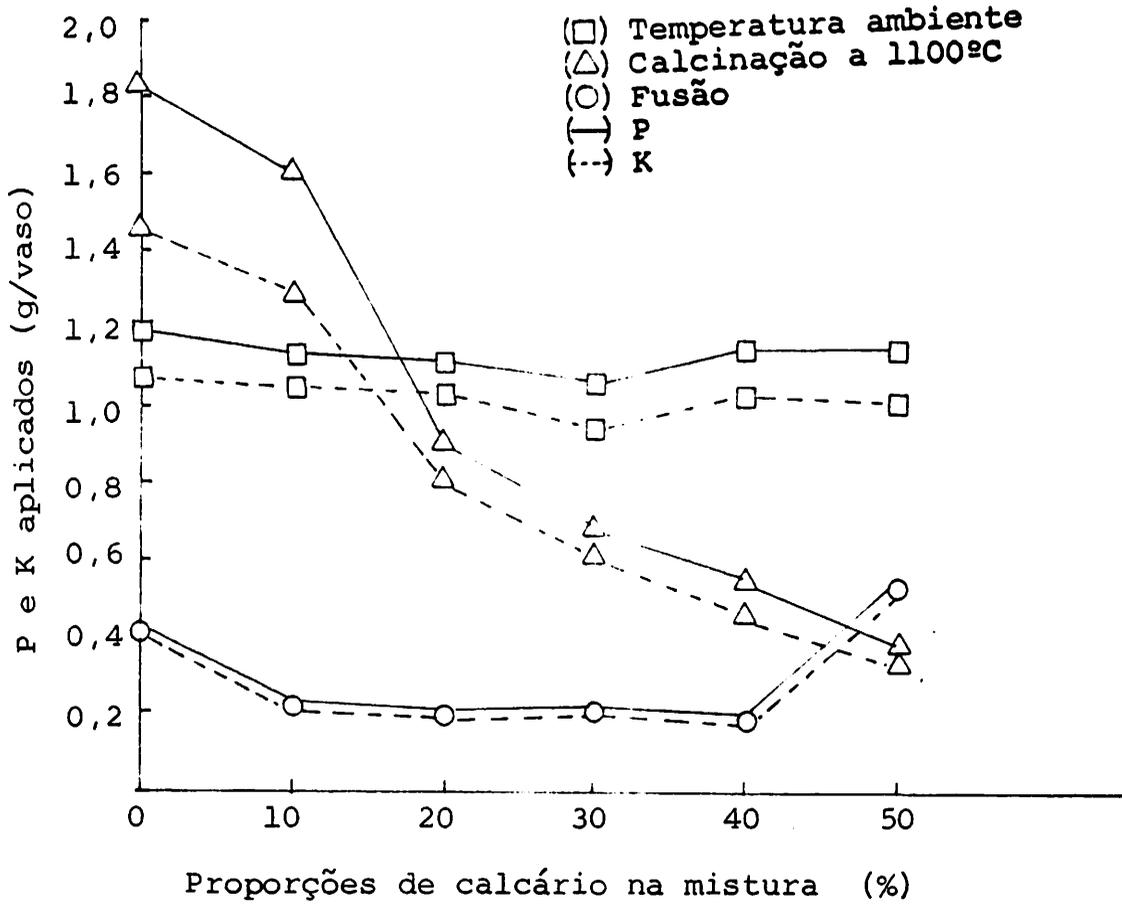


FIGURA 1. Quantidades de P total e K total aplicados, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos (médias dos níveis de adubação). ESAL, Lavras-MG. 1984.

QUADRO 6. Quantidades totais de Ca, Mg, K e P aplicados nos diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)	Níveis de adubação	Nutrientes			
			Ca	Mg	K	P
			g/vaso			
Temperatura ambiente	0	N 1	1,65	0,13	0,71	0,78
		N 2	3,30	0,25	1,42	1,57
	10	N 1	2,00	0,25	0,67	0,74
		N 2	4,00	0,50	1,34	1,49
	20	N 1	2,54	0,39	0,67	0,74
		N 2	5,07	0,79	1,35	1,48
	30	N 1	3,02	0,55	0,62	0,69
		N 2	6,03	1,11	1,24	1,38
	40	N 1	4,27	0,87	0,68	0,75
		N 2	8,54	1,74	1,35	1,51
	50	N 1	5,57	1,24	0,66	0,75
		N 2	11,15	2,48	1,33	1,50
Calcinação a 1100°C	0	N 1	2,56	0,19	0,96	1,23
		N 2	5,12	0,37	1,92	2,46
	10	N 1	2,80	0,33	0,85	1,06
		N 2	5,60	0,66	1,70	2,13
	20	N 1	2,08	0,25	0,53	0,59
		N 2	4,16	0,50	1,06	1,19
	30	N 1	2,04	0,32	0,40	0,46
		N 2	4,08	0,65	0,80	0,92
	40	N 1	2,14	0,40	0,30	0,38
		N 2	4,27	0,80	0,60	0,76
	50	N 1	1,86	0,38	0,21	0,25
		N 2	3,72	0,75	0,42	0,50
Fusão	0	N 1	0,72	0,06	0,28	0,29
		N 2	1,44	0,13	0,56	0,57
	10	N 1	0,49	0,06	0,15	0,16
		N 2	0,98	0,17	0,30	0,32
	20	N 1	0,59	0,09	0,15	0,15
		N 2	1,19	0,18	0,30	0,30
	30	N 1	0,75	0,14	0,15	0,17
		N 2	1,50	0,28	0,30	0,34
	40	N 1	1,01	0,18	0,15	0,16
		N 2	2,02	0,36	0,30	0,32
	50	N 1	2,74	0,57	0,34	0,37
		N 2	5,47	1,14	0,68	0,74
Testemunha			-	-	0,00	0,00
Completo			-	-	0,30	0,60

Após a colheita das plantas de cada cultivo, a terra foi peneirada para retirada do sistema radicular e de um volume de 80 cm³ para análises químicas posteriores.

A parte aérea das plantas foi lavada e acondicionada em sacos de papel, posta para secar em estufa com circulação forçada de ar a 65-75°C, até peso constante, procedendo-se a pesagem da matéria seca. Posteriormente, o material vegetal foi moído em moinho tipo Wiley e acondicionado em frascos de vidro para análises químicas.

Na análise da matéria seca procedeu-se uma digestão nítrico-perclórica, sendo o P determinado por colorimetria com molibdato e vanadato de amônio; K, Ca e Mg segundo metodologia proposta por SARRUGE & HAAG (65), sendo o K determinado por fotometria de chama e Ca e Mg por espectrofotometria de absorção atômica.

As análises químicas foram feitas no material do solo original, após o período de incubação e após cada cultivo, determinando-se pH em KCl, Ca e Mg trocáveis, segundo VETTORI (71); K e P solúveis usando o extrator de Mehlich, segundo PRATT (54); K dificilmente disponível ou solúvel em HNO₃1N, segundo PRATT (54). Determinou-se também o P com os métodos de Bray I e Olsen antes e após o primeiro cultivo, e após o segundo cultivo, segundo PRATT (54).

3.5. Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas segundo as recomendações de PIMENTEL GOMES (53) e STEEL & TORRIE (68).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância para ensaios balanceados, e regressão polinomial, pelo programa "AVBRPOL", segundo LIMA E SILVEIRA (37); e a análises de correlação linear simples pelo método usual de Pearson, pelo programa "CORREL", segundo LIMA (36).

As médias obtidas nas análises de variância foram comparadas entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização química das misturas submetidas aos diversos tratamentos térmicos.

Os resultados das análises químicas dos materiais submetidos aos tratamentos térmicos são apresentados no Quadro 3. Observa-se que ocorreram variações nos teores de nutrientes em função das temperaturas aplicadas e proporções de calcário na mistura.

4.1.1. Avaliação dos teores totais de nutrientes (expressos em óxidos).

As variações dos teores totais dos elementos são justificadas pelas proporções diversas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, os quais possuem Ca, Mg, K e P na sua constituição. Porém, um fato interessante a observar é o aumento na concentração de K_2O e P_2O_5 totais com os tratamentos térmicos das misturas a $1100^{\circ}C$ e fusão. Especialmente, para misturas com maiores teores de calcário magnesiano, houve uma concentração razoável desses elementos: por exemplo, da ordem de 0,8 e 1,5% do K_2O

total e P_2O_5 total, respectivamente, para a mistura fundida com 40% de calcário, em relação à mesma mistura na temperatura ambiente.

Esse efeito de concentração é justificado pela perda de componentes voláteis a temperaturas elevadas, especialmente vapores da água de constituição e/ou de hidratação das rochas, e perdas de CO_2 provenientes da queima dos carbonatos.

Assumindo os teores totais de óxidos de cálcio, magnésio, potássio e fósforo como parâmetros de avaliação dos tratamentos térmicos, parece promissor o tratamento de fusão, quando aplicado em misturas com maiores teores de calcário. Observa-se um aumento drástico dos teores de CaO e MgO e uma pequena redução dos teores de K_2O e P_2O_5 nessas misturas, relativamente àquelas sem calcário. Ademais, uma conseqüente relação CaO/MgO aproximada de 4/1 nas misturas tratadas com proporções maiores de calcário, pode justificar um possível comportamento adequado das mesmas como corretivos do solo, desde que relações CaO/MgO da ordem de 4 a 5/1 têm sido recomendadas para a maioria dos solos sob "cerrado", LOPES (40). As relações P_2O_5/K_2O , por outro lado, são equivalentes para todos os tratamentos, e aproximadas dos níveis de K_2O e P_2O_5 recomendados como corretivos para solos sob "cerrado", LOPES (41).

No entanto, a eficiência agrônômica de cada tratamento está condicionada aos padrões de liberação de seus nutrientes constituintes, o que será discutido a seguir mediante testes de solubilidade em laboratório e teste biológico, com a cultura do milho em

vasos.

4.1.2. Avaliação da solubilidade de potássio das misturas após os tratamentos térmicos.

Os teores de potássio solúvel em HNO_3 LN a quente, dos diversos tratamentos, estão apresentados no Quadro 3.

O potássio do solo, solúvel em HNO_3 LN a quente, é considerado um índice de disponibilidade desse nutriente para as culturas, por um período mais ou menos longo, PRATT (54), sendo que os teores de potássio extraído do solo por esse método nas primeiras extrações, são tidos como "potássio disponível à cultura a longo prazo", FASSBENDER (21). Na Figura 2 são apresentadas as solubilidades relativas de potássio nos diversos tratamentos avaliados pela percentagem de potássio solúvel em HNO_3 LN a quente (relação 1:50), relativamente à percentagem de potássio total do tratamento em questão. Verifica-se que o tratamento de fusão proporcionou os maiores valores de recuperação do potássio total em ácido nítrico, exceto para a proporção de 50% de calcário, permitindo um patamar de máxima solubilidade relativa quando a mistura foi fundida com 10, 20, 30 e 40% de calcário adicionado. Já o tratamento de 1100°C proporcionou taxas menores de solubilidade do potássio, apresentando uma curva de resposta aproximadamente linear, com taxas de recuperação mais altas correspondendo a maiores teores de calcário na mistura. Observa-se que a calcinação a 1100°C , sem calcário, foi inferior à mistura não calcinada, porém, com o teor de 50% de calcário

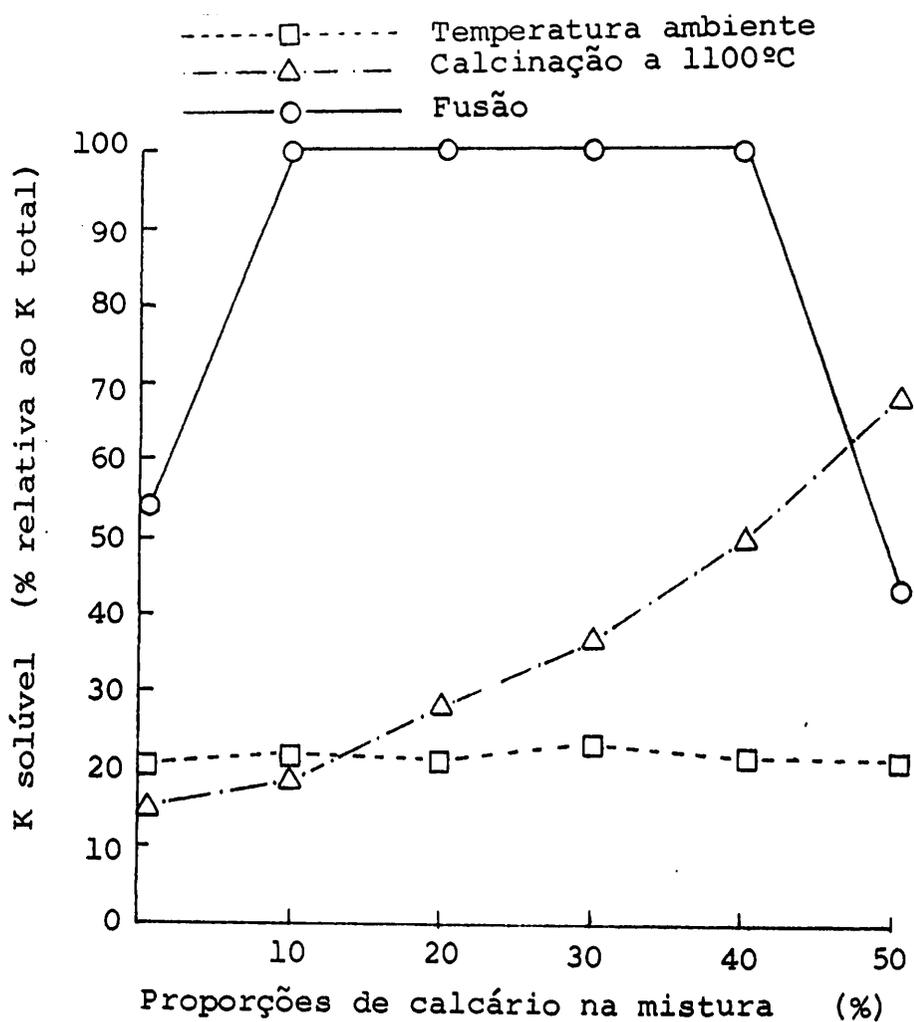


FIGURA 2. Solubilidade relativa de potássio em HNO₃LN a quente (relação 1:50) para os diversos materiais, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

na mistura, esse tratamento térmico superou até o tratamento de fusão da mistura com 50% de calcário.

O efeito positivo dos teores crescentes de calcário magnésiano em aumentar a taxa de potássio extraído com HNO_3 LN deve-se ao provável efeito "fundente" dos carbonatos, segundo SAFFIOTI (60), facilitando a quebra da estrutura das micas contidas no verdete de Abaeté. O fato observado da menor taxa de recuperação do potássio na mistura tratada a 1100°C sem calcário, e na mistura fundida com 50% de calcário a qual superou em pouco os tratamentos de temperatura ambiente, deve estar ligado à fusão e precipitação de minerais em formas de menor disponibilidade de potássio conforme apreciado por KLAMT et alii (33). De acordo com BRADLEY & GRIM (7) a ilita submetida 1000°C perde totalmente o caráter micáceo, com a formação de vidro, porém, recristaliza-se formando o mineral mullita a 1100°C . Isso sugere também reações semelhantes com sericita e glauconita, juntamente com ilita, as quais foram identificadas como constituintes do verdete de Abaeté (ver item 2.2).

4.1.3. Avaliação da solubilidade de fósforo das misturas após os tratamentos térmicos.

Os teores de fósforo solúvel em ácido cítrico a 2% nas misturas após os diversos tratamentos térmicos, estão apresentados no Quadro 3. Observa-se os maiores teores de P_2O_5 solúvel quando se aplica o tratamento de fusão nas misturas adicionadas de 30, 40 e 50% de calcário magnésiano. Os demais tratamentos apresentaram bai

xos teores de fósforo solúvel.

O fosfato de Araxá tem apresentado teores de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% aproximadamente 4 a 5%, como verificado no Quadro 2. Porém, quando misturado com calcário a eficiência de extração do ácido cítrico a 2% é reduzida, devido ao consumo de ácido pelos carbonatos do calcário. Assim, o método de extração de fósforo em questão, deve apresentar limitações nessa situação em que os materiais apresentam reação básica. O problema poderia ser contornado, em parte, medindo o fósforo solúvel em solução neutra de citrato de amônio, segundo recomendações de BRASIL (10). Entretanto, as solubilidades relativas das diversas misturas, evidenciam efeitos contrastantes entre os tratamentos (Figura 3).

Observa-se ainda, na Figura 3, que as misturas tratadas a $1100^\circ C$ tenderam a apresentar níveis de fósforo solúvel inferiores àquelas à temperatura ambiente. Isso pode estar ligado a uma maior cristalização da apatita por volta de $1100^\circ C$, como observado por FREEMAN et alii (25) calcinando as rochas fosfatadas de Morocco e Utah a $1050^\circ C$.

Já o tratamento de fusão promoveu reações relativamente intensas nos materiais, com efeito mais acentuado a maiores proporções de calcário magnesiano na mistura (Figura 3). Esse tratamento, especialmente quando aplicado em misturas com altos teores de calcário (30% ou mais), parece ter alterado completamente a estrutura das rochas. Como esclarece HOROWITZ et alii (29) a entrada do CO_3^{2-} na estrutura da apatita, concorre para aumentar a solubilidade da

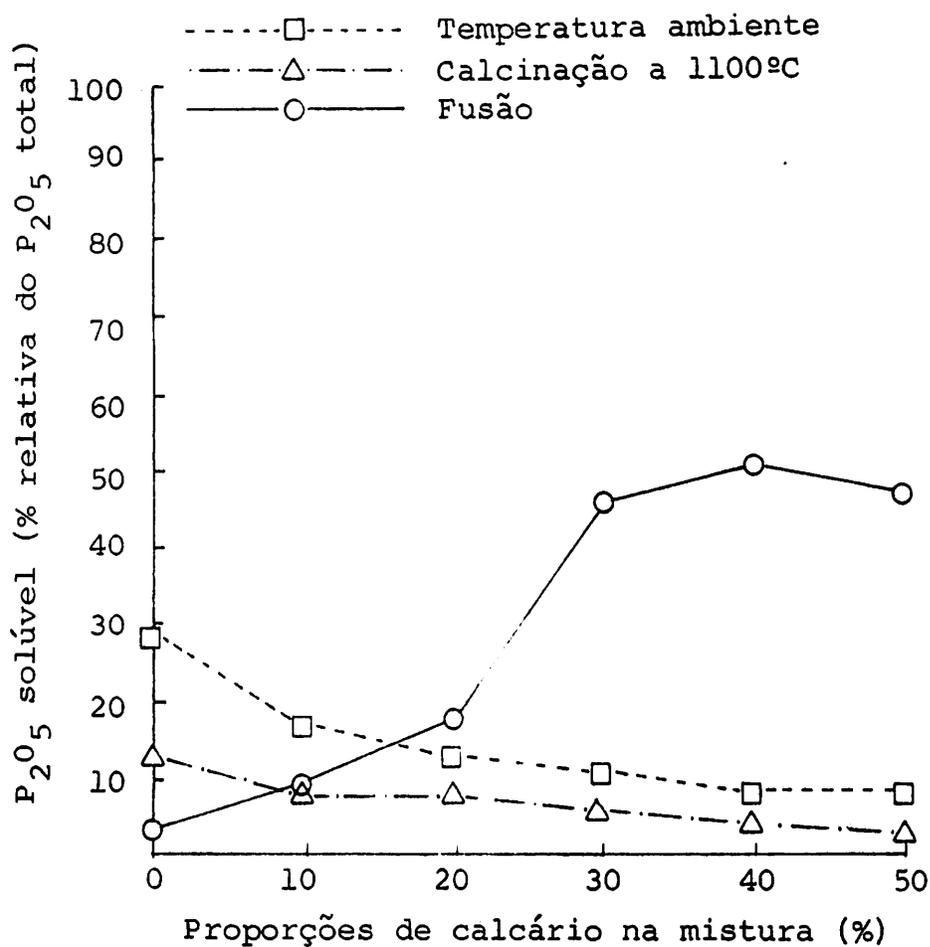


FIGURA 3. Solubilidade relativa de fósforo em ácido cítrico 2% (relação 1:100), para os diversos materiais, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

mesma, o que seria possível em altas temperaturas. Já o resfriamento rápido aplicado com esse tratamento, possivelmente impediu o processo de reversão na solubilidade de fósforo após a fusão do material, como revisado por GUARDANI (28).

4.2. Produção de matéria seca pela parte aérea do milho

A cultura do milho se desenvolveu no material de solo o qual teve os teores de Ca e Mg elevados a níveis adequados, bem como o Al reduzido a níveis não tóxicos (Quadro 5), segundo a COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (15).

Os dados originais de produção de matéria seca da parte aérea do milho em cada cultivo, referentes aos tratamentos, encontram-se no Quadro 1 A*.

Em relação ao primeiro cultivo de milho, o resumo da análise de variância dos dados de produção de matéria seca pode ser observado no Quadro 2 A. Essa análise preliminar mostrou efeito isolado dos tratamentos térmicos sobre as misturas, a nível de significância de 0,3%, e a 5,9% para a interação desse fator com proporções de calcário na mistura.

Um resumo dos efeitos dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura sobre as produções médias de matéria seca para o primeiro cultivo pode ser visto no Quadro 7. Observa-se que a fusão da mistura verde de Abaeté com fosfato de Araxá (relação 1/1), adicionada de 30% de calcário magnesiano, se destacou

* A letra maiúscula "A" caracteriza os quadros do Apêndice.

QUADRO 7. Médias de matéria seca produzida pela parte aérea do milho em cada cultivo, e soma dos cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)																	
	0		10		20		30		40		50							
1º cultivo																		
-----g/vaso-----																		
Temperatura ambiente	2,63	a	A	1,95	a	A	1,98	a	A	1,96	a	B	1,86	a	A	1,99	a	A
Calcinação a 1100°C	2,32	a	A	1,88	a	A	2,02	a	A	1,91	a	B	1,98	a	A	1,93	a	A
Fusão	2,04	b	A	2,15	b	A	2,43	ab	A	3,76	a	A	2,91	a	A	2,37	b	A
Testemunha	2,01																	
Completo	24,92																	
2º cultivo																		
-----g/vaso-----																		
Temperatura ambiente	7,04	a	A	3,47	b	A	2,56	b	B	2,85	b	B	2,45	b	B	2,52	b	B
Calcinação a 1100°C	3,59	a	B	3,35	ab	A	2,48	b	B	2,79	ab	B	2,66	ab	B	2,46	b	B
Fusão	2,68	d	C	3,07	d	A	3,39	cd	A	4,93	b	A	5,98	a	A	4,11	bc	A
Testemunha	2,57																	
Completo	8,63																	
Soma dos cultivos																		
-----g/vaso-----																		
Temperatura ambiente	9,66	a	A	5,42	b	A	4,52	b	B	4,81	b	B	4,30	b	B	4,51	b	B
Calcinação a 1100°C	5,90	a	B	5,23	a	A	4,86	a	AB	4,70	a	B	4,66	a	B	4,39	a	B
Fusão	4,71	c	B	5,22	bc	A	5,83	bc	A	8,69	a	A	8,89	a	A	6,48	b	A
Testemunha	4,58																	
Completo	33,55																	

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

dos demais tratamentos térmicos; ademais, sem efeito dos níveis de adubação, conforme Quadro 2 A. Porém, houve uma tendência da mistura fundida com 40% de calcário magnesiano em aproximar das produções de matéria seca alcançadas pelo tratamento anterior, como pode ser visualizado no Quadro 7 e Figura 4. A curva ajustada para a temperatura de fusão sobre a produção de matéria seca em função das proporções de calcário na mistura mostra que as misturas fundidas tenderam a superar o tratamento testemunha quando se adicionou acima de 10% de calcário na mistura, sendo que o máximo efeito da fusão deve ocorrer entre as proporções de 30 a 40% de calcário na mistura. Essas observações são confirmadas ao discutir sobre os níveis de absorção de potássio e fósforo pela parte aérea do milho (item 4.3).

O solo utilizado nesse experimento mostrou-se limitante em disponibilidade natural de potássio e/ou fósforo sobre a produção de matéria seca em ambos os cultivos de milho (Quadro 3 A). Isso justifica que os vários tratamentos podem ser testados como fontes de potássio e fósforo a um mesmo instante, sendo natural que ocorra maior produção de matéria seca para o tratamento que tenha satisfeito as exigências da cultura teste nesses dois nutrientes.

Partindo do princípio de que os tratamentos foram aplicados em um solo com níveis adequados de cálcio e magnésio, e pH próximo à neutralidade (Quadro 5), os efeitos diferenciais de tratamentos na produção de matéria seca devem estar ligados às suas disponibilidades em potássio e fósforo. Essas disponibilidades podem ser justificadas pela natureza dos materiais tratados termicamente,

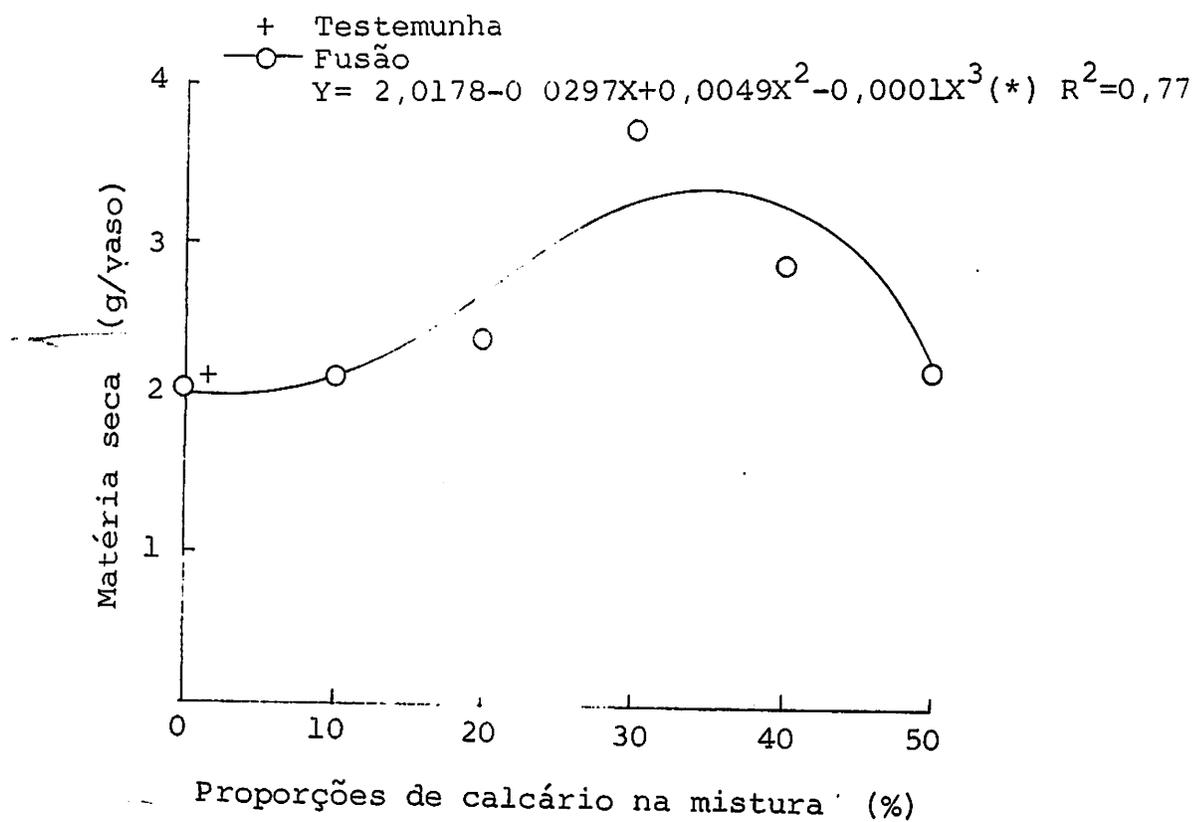


FIGURA 4. Matéria seca da parte aérea do milho, no primeiro cultivo, em função das proporções de calcário na mistura, tratamento térmico à fusão e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(*) Equação de regressão significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de "F".

os quais devem possuir diferentes teores desses nutrientes assimiláveis pela cultura já no primeiro cultivo. Ressalta-se que o alto pH do solo, associado a níveis relativamente altos de cálcio, atingidos com a calagem, não devem ter favorecido a solubilização dos materiais de baixa solubilidade apoiado nas discussões de KHASAWNEH & DOLL (32) e CHIEN (12) para fosfatos naturais, e de FEIGENBAUM & SHAINBERG (22) para rochas potássicas.

É importante enfatizar que os materiais foram aplicados homogeneamente em todo volume do material do solo, propiciando condições máximas de solubilização e retenção de P; indubitavelmente, houve certa competição entre os sistemas solo e radicular da cultura teste, especialmente pelos fosfatos solúveis, pois o solo em questão é tido como de alta capacidade de retenção de fosfatos, segundo LOPES (38).

Essas observações justificam que o tratamento com maior taxa de liberação de potássio e fósforo deve promover, por conseguinte, a maior produção de matéria seca da cultura teste, ainda que seja incapaz de satisfazer as exigências dessa cultura e/ou do solo para atingir produção máxima.

Contudo, como os tratamentos possuem diferentes valores de neutralização, com teores variáveis de cálcio e magnésio (Quadro 3) sendo aplicados em dosagens também variáveis (Quadro 6), é indispensável esclarecer os possíveis efeitos desses fatores na produção de matéria seca.

Os coeficientes de correlação apresentados nos Quadros 8 e 9, referentes às variáveis matéria seca do primeiro e segundo cultivos e outros parâmetros de planta e de solo, sugerem comportamentos adversos entre os materiais de mistura tratados à temperatura ambiente a 1100°C e fusão. Assim, observa-se que pH do solo, associado a cálcio e magnésio trocáveis, interferiram negativamente na produção de matéria seca em ambos os cultivos apenas para os materiais tratados à temperatura ambiente e a 1100°C (Quadros 8 e 9). Isso é melhor esclarecido no Quadro 10, onde se observa que o pH apresenta, geralmente, alta correlação positiva com os teores de cálcio e magnésio trocáveis. Por outro lado, a baixa correlação do pH com o potássio absorvido e a alta correlação negativa com o fósforo absorvido, posteriormente, indicam que valores mais altos de pH do solo prejudicaram a disponibilidade de fósforo, mas pouco interferiram na disponibilidade de potássio, para os tratamentos de temperatura ambiente e 1100°C. Porém, houve correlação positiva do pH, associado aos níveis de cálcio e magnésio trocáveis, com a acumulação posterior de potássio, fósforo e matéria seca, para os materiais fundidos (Quadro 10). Isso sugere que esses parâmetros por si e/ou aliados a maiores teores de potássio e fósforo aplicados (em função dos níveis de adubação), permitiram maior disponibilidade de nutrientes à cultura nos tratamentos que receberam fusão.

Essas considerações têm apoio no fato de ocorrer, em geral, maior produção de matéria seca nos tratamentos que receberam fusão, sendo os tratamentos que responderam mais positivamente ao nível 2 de adubação para esse parâmetro de planta, Quadro 11.

QUADRO 8. Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre matéria seca da parte aérea (g/vaso) e parâmetros de solo após o primeiro cultivo, e de planta no primeiro cultivo, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Parâmetros de solo e de planta	Temperatura ambiente		Calcinação a 1100°C		Fusão	
	r	N.S. (%)	r	N.S. (%)	r	N.S. (%)
<u>Solo</u>						
Ca trocável (meq/100 g)	- 0,54	0,03	- 0,43	0,48	0,09	29,70
Mg trocável (meq/100 g)	- 0,32	2,93	- 0,54	0,03	0,11	26,35
pH em KCl	- 0,66	0,00	- 0,34	2,08	0,08	31,68
<u>Planta</u>						
Ca (mg/vaso)	- 0,73	0,00	0,68	0,00	0,74	0,00
Mg (mg/vaso)	0,55	0,02	0,55	0,02	0,80	0,00
K (mg/vaso)	0,83	0,00	0,75	0,00	0,92	0,00
P (mg/vaso)	0,77	0,00	0,70	0,00	0,88	0,00

QUADRO 9. Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre matéria seca da parte aérea (g/vaso) e parâmetros de solo após o primeiro cultivo, e de planta no segundo cultivo, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG . 1984.

Parâmetros de solo e de planta	Temperatura ambiente		Calcinação a 1100°C		Fusão	
	r	N.S.(%)	r	N.S.(%)	r	N.S.(%)
<u>Solo</u>						
Ca trocável (meq/100 g)	- 0,65	0,00	- 0,69	0,00	0,38	1,14
Mg trocável (meq/100 g)	- 0,27	5,39	- 0,57	0,01	0,44	0,33
pH em KCl	- 0,82	0,00	- 0,70	0,00	0,45	0,31
K - Mehlich (ppm)	- 0,48	0,16	- 0,62	0,00	0,16	
P - Mehlich (ppm)	0,33	2,62	0,60	0,01	- 0,02	45,87
P - Bray I (ppm)	0,67	0,00	- 0,02	45,29	0,39	0,93
P - Olsen (ppm)	0,49	0,10	- 0,11	26,91	0,14	21,46
<u>Planta</u>						
Ca (mg/vaso)	0,88	0,00	0,65	0,00	0,87	0,00
Mg (mg/vaso)	0,68	0,00	0,68	0,00	0,92	0,00
K (mg/vaso)	- 0,08	32,63	0,09	29,19	0,59	0,01
P (mg/vaso)	0,96	0,00	0,88	0,00	0,96	0,00

QUADRO 10. Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre pH e parâmetros de solo após o primeiro cultivo e de planta no segundo cultivo, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Parâmetros de solo e de planta	Temperatura ambiente		Calcinação a 1100°C		Fusão	
	r	N.S. (%)	r	N.S. (%)	r	N.S. (%)
<u>Solo</u>						
P - Bray I (ppm)	- 0,44	0,36	0,31	3,47	0,82	0,00
P - Mehlich (ppm)	- 0,01	47,16	- 0,54	0,03	0,48	0,14
P - Olsen (ppm)	- 0,38	1,17	0,14	19,94	0,76	0,00
K - Mehlich (ppm)	0,54	0,03	0,89	0,00	0,01	48,35
Ca trocável (meq/100 g)	0,85	0,00	0,90	0,00	0,87	0,00
Mg trocável (meq/100 g)	- 0,18	14,33	0,77	0,00	0,67	0,00
<u>Planta</u>						
K (mg/vaso)	- 0,01	48,62	0,21	10,40	0,44	0,37
P (mg/vaso)	- 0,81	0,00	- 0,64	0,00	0,47	0,18

QUADRO 11. Médias de matéria seca produzida pela parte aérea do milho no ~~segundo~~ cultivo e soma dos cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, tes~~te~~ temunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	2º cultivo			Soma dos cultivos		
	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão
	----- g/vaso -----					
Nível 1	3,29 ab A	2,94 b A	3,71 a B	5,35 b A	4,96 b A	6,20 a B
Nível 2	3,67 b A	2,95 c A	4,37 a A	5,73 c A	4,95 c A	7,07 a A
Testemunha	2,57			4,58		
Completo	8,63			33,55		

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ainda que o nível 2 de adubação tenha elevado o pH do solo e os níveis de cálcio e magnésio trocáveis (Quadro 12 e Quadro 4 A), não se observou nenhum efeito detrimental do nível de adubação na produção de matéria seca e acúmulo de potássio e fósforo pela parte aérea do milho (Quadros 11, 16 e 17). Isso sugere que especialmente para os tratamentos de temperatura ambiente e/ou aqueles tratados a 1100°C, as correlações negativas do pH associado aos níveis de cálcio e magnésio trocáveis foram devidas ao efeito indireto desses parâmetros na solubilização dos materiais no solo referentes a esses tratamentos. No tocante aos tratamentos de fusão, houve baixa correlação do pH com a produção de matéria seca no primeiro cultivo (Quadro 8). Esse fato, aliado à falta de efeito significativo do nível de adubação sobre a produção de matéria seca no primeiro cultivo (Quadro 2 A), indica que o tempo de reação de apenas 45 dias do material fundido, no solo sem acidez, justifica a ausência de resposta à dosagem aplicada. Assim, apenas a natureza do material fundido, em função da proporção de calcário que recebeu na mistura, foi capaz de influenciar a produção de matéria seca no primeiro cultivo.

É importante enfatizar as razões de superioridade dos tratamentos que receberam fusão, especialmente aqueles adicionados de 30 e 40% de calcário magnesiano na mistura. Como discutido nos itens 4.1.2 e 4.1.3, esses tratamentos apresentaram, ao mesmo tempo, as maiores solubilidades de potássio em HNO_3 1N a quente e fósforo em ácido cítrico a 2%, sugerindo uma natureza mineralógica alterada para os mesmos. Haja visto que são compostos provenientes

QUADRO 12. Médias dos valores de pH em KCl do substrato após o primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	Após 1º cultivo			Após 2º cultivo		
	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão
Nível 1	6,37 a B	6,27 a B	5,74 b B	6,20 a B	5,93 b B	5,46 c B
Nível 2	6,67 a A	6,85 a A	5,97 b A	6,61 a A	6,56 b A	5,72 c A
Testemunha	5,10			4,63		
Completo	5,20			4,70		

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

de três materiais diferentes, submetidos à fusão e resfriamento brusco, os quais apresentaram aparência de material vitrificado e menor resistência à moagem (dados não quantificados). Um aspecto que chama a atenção, é o relativo alto teor de sílica desses materiais, proveniente do verdete de Abaeté, item 2.2. Assim, pode-se prever teores da ordem de 23% de SiO_2 para os materiais fundidos com 30 e 40% de calcário, superando os termofosfatos "Rhenania" (10,5% de SiO_2) e "Magnesiano" (18-24% de SiO_2), GUARDANI (28).

Dados de CHIEN (11) sobre testes com fosfato Rhenania em solo ácido (pH 4,5) e de alta capacidade de retenção de fósforo, mostram que após uma semana de incubação os níveis de fósforo solúvel em água desse fosfato foram superiores aos do superfosfato, ainda que fosfato Rhenania apresente o fósforo na forma solúvel em citrato. Esse mesmo autor relata efeitos positivos de $\text{SiO}_3^=$ sobre a disponibilidade do fósforo aplicado, por reduzir a retenção de fósforo pelos hidróxidos de Fe e de Al recém-precipitados com a calagem, os quais retêm um máximo de sílica a pH 8-9, mas ainda altos teores a pH 4,5, McKEAGUE & CLINE (44). Para SMYTH & SANCHEZ (67). O CaSiO_3 é capaz de aumentar o pH do solo, e a carga negativa por adsorção específica do silicato.

Os parâmetros biológicos avaliados nesse experimento, como produção de matéria seca, absorção e disponibilidade no solo de potássio e fósforo, devem refletir as interações desses fatores, o que seria impossível de prever apenas com índices químicos de laboratório. Contudo, admite-se que em condições de campo, onde os materiais podem ser aplicados em antecedência ao plantio, em solo

de pH mais ácido, a magnitude de resposta pode ser aumentada, especialmente pelo fato dos materiais apresentarem baixa solubilidade em água. De acordo com SANCHEZ & UEHARA (62) produtos fosfatados dessa espécie são equiparáveis aos superfosfatos, especialmente em solos ácidos sem calagem prévia.

O resumo da análise de variância da produção de matéria seca, referente ao segundo cultivo e soma dos cultivos, está no Quadro 2 A. Nota-se efeito significativo para todos os fatores testados, bem como algumas interações de fatores, em influenciar esse parâmetro.

Os testes das médias (Quadro 7) mostram que nenhuma proporção de calcário adicionado na mistura alterou a produção de matéria seca pela parte aérea do milho com o tratamento térmico a 1100°C. Ainda, quando se compara o tratamento a 1100°C da mistura sem calcário com a mistura original, observa-se, no segundo cultivo e soma dos cultivos, um efeito negativo da calcinação (Quadro 7). Já os tratamentos de fusão superaram geralmente os demais (Quadro 11), especialmente nas proporções de 30 e 40% de calcário na mistura (Quadro 7), e responderam positivamente à maior dosagem aplicada (Quadro 11), a ponto de aproximarem do tratamento completo na produção de matéria seca no segundo cultivo (Quadro 7 e Quadro 1 A).

O comportamento dos diversos tratamentos térmicos, independentemente dos níveis de adubação, é melhor visualizado nas Figuras 5 e 6. Assim, observa-se um efeito negativo de maiores proporções de calcário nas misturas não tratadas termicamente e/ou tra

RECEIVED - COMMUNITY DEVELOPMENT

[The remainder of the page contains extremely faint and illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the document.]

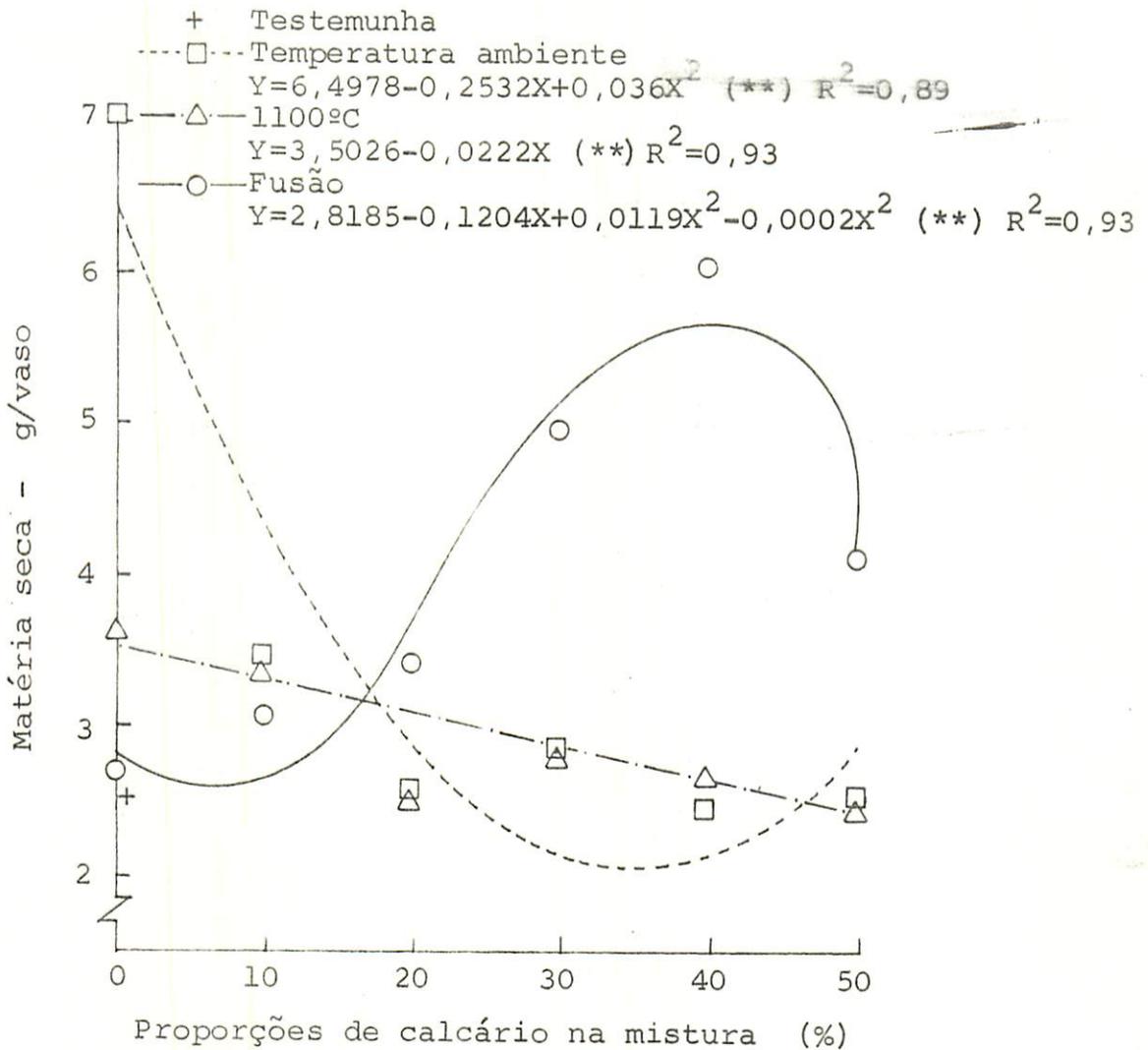


FIGURA 5. Matéria seca da parte aérea do milho, no segundo cultivo, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".



Testemunha
Laboratório de Física
1-3-8278-0-2532X-0,018X-0,0007X
1-3-8058-0-10222X-0,018X-0,0007X
1-3-8187-0-1504X-0,018X-0,0007X



Gráfico das distâncias em metros em função do tempo em segundos.

As distâncias em metros são dadas em função do tempo em segundos. As distâncias são dadas em metros e o tempo em segundos.

As distâncias são dadas em metros e o tempo em segundos.

As distâncias são dadas em metros e o tempo em segundos.

1-3-8278-0-2532X-0,018X-0,0007X
1-3-8058-0-10222X-0,018X-0,0007X
1-3-8187-0-1504X-0,018X-0,0007X



Gráfico das distâncias em metros em função do tempo em segundos.

As distâncias em metros são dadas em função do tempo em segundos. As distâncias são dadas em metros e o tempo em segundos.

As distâncias são dadas em metros e o tempo em segundos.

As distâncias são dadas em metros e o tempo em segundos.

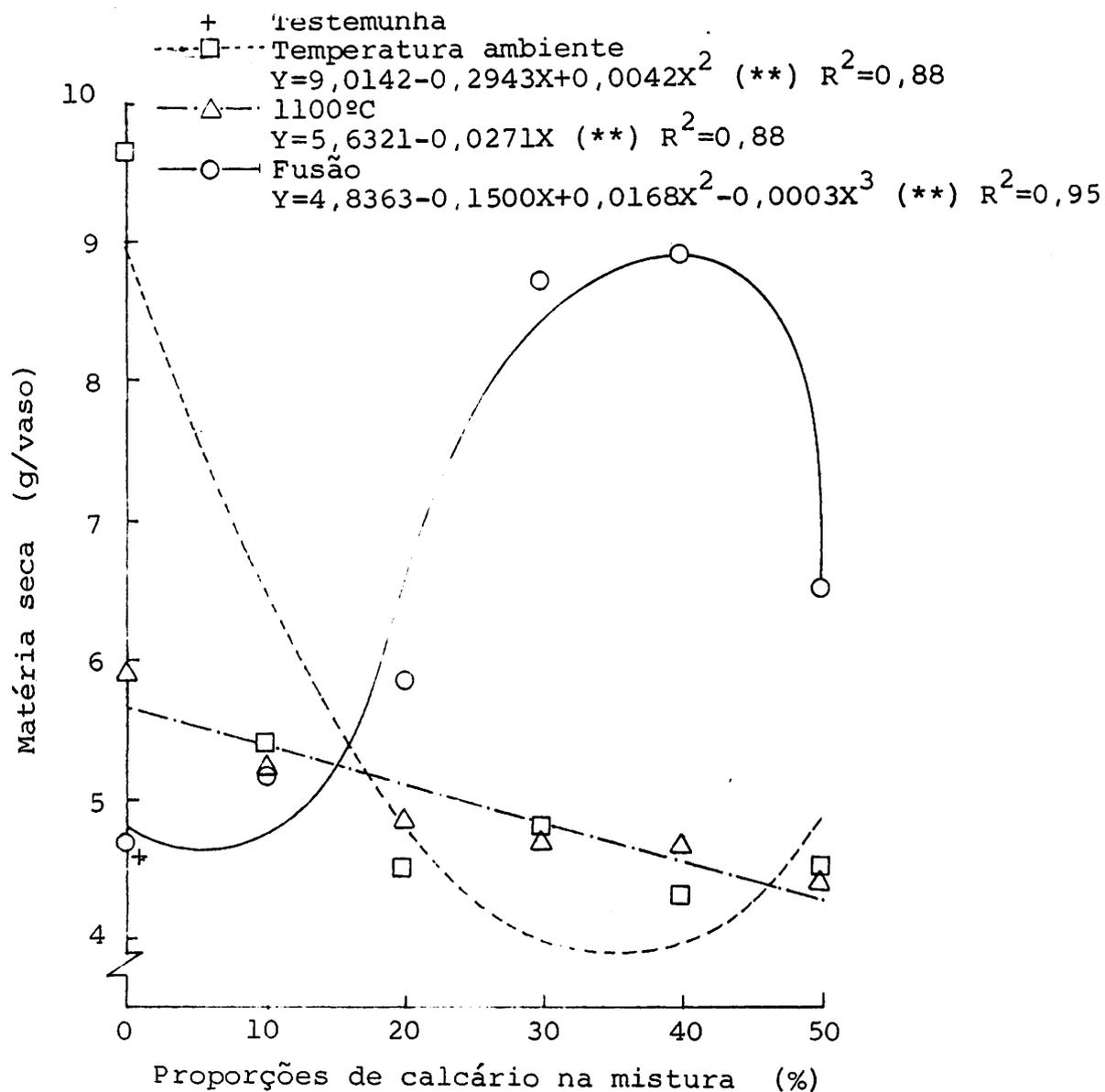


FIGURA 6. Matéria seca total da parte aérea do milho em dois cultivos, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

tadas a 1100°C. Porém, as misturas fundidas responderam positivamente a maiores teores de calcário magnesiano adicionado, apresentando um máximo de produção de matéria seca pela parte aérea do milho com a adição de 40% de calcário na mistura (Figuras 5 e 6).

Especialmente, as maiores dosagens de cálcio e magnésio aplicadas, associadas a maiores teores de calcário na mistura (Quadro 6), justificam as tendências das curvas ajustadas para os tratamentos térmicos à temperatura ambiente e de 1100°C. Haja visto a alta correlação positiva do pH do solo com os níveis de cálcio e magnésio trocáveis, bem como a correlação negativa desses parâmetros com as produções de matéria seca para esses tratamentos (Quadros 8, 9 e 10).

Ao comparar as produções de matéria seca referentes aos tratamentos térmicos em cada cultivo (Quadro 7), observa-se que em teores acima de 10% de calcário magnesiano na mistura, os tratamentos de fusão superaram os demais. Esse fato não se justifica pelas dosagens totais de fósforo e/ou potássio aplicadas, visto que os tratamentos de fusão receberam dosagens menores destes nutrientes (Quadro 6 e Figura 3).

Entretanto, a associação da dosagem de fósforo e potássio aplicada, com valores baixos de pH, permitiu um maior efeito dos tratamentos tratados à temperatura ambiente e a 1100°C. Isso pode ser visto confrontando os dados de pH (Quadro 13) com as produções de matéria seca (Quadro 7 e Figuras 5, 6) para as misturas puras ou adicionadas de 10% de calcário magnesiano.

QUADRO 13. Médias dos valores de pH em KCl no substrato após o primeiro e segundo cultivos, em função das temperaturas de calcinação e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)							
	0	10	20	30	40	50		
1º cultivo								
Temperatura ambiente	5,27 d A	6,08 c A	6,60 b A	6,88 b A	7,17 a A	7,13 a A		
Calcinação a 1100°C	5,47 e A	5,93 d A	6,63 c A	6,83 bc A	7,22 ab A	7,27 a A		
Fusão	5,25 d A	5,22 d B	5,40 d B	5,75 c B	6,25 b B	7,27 a A		
Testemunha	5,10							
Completo	5,20							
2º cultivo								
Temperatura ambiente	4,93 d A	6,00 c A	6,58 b A	6,83 b A	7,07 a A	7,02 a B		
Calcinação a 1100°C	4,97 e A	5,70 d A	6,28 c A	6,68 b A	7,10 a A	6,72ab B		
Fusão	4,68 d A	4,62 d B	4,95 d B	5,55 c B	6,27 b B	7,48 a A		
Testemunha	4,63							
Completo	4,70							

Para cada cultivo, as médias seguidas da mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Todavia, só é possível justificar a menor produção de matéria seca dos tratamentos a 1100°C, relativamente àqueles de temperatura ambiente, referentes às proporções 0 e 10% de calcário na mistura, por algum efeito negativo da temperatura de 1100°C sobre a solubilidade da mistura verdete de Abaeté fosfato de Araxá para potássio e/ou fósforo, como discutido nos itens 4.1.2 e 4.1.3.

Assim, os dados de potássio e fósforo acumulados (Quadros 14 e 15 e Figuras 7 e 8), associados àqueles de disponibilidade de potássio no solo (Quadro 18), confirmam a maior solubilidade do material à temperatura ambiente, em relação ao material à 1100°C, especialmente se comparados quando não adicionados de calcário magnesiano (veja itens 4.1.2 e 4.1.3).

A relativa alta produção de matéria seca no segundo cultivo, observada para o tratamento de temperatura ambiente que não recebeu calcário na mistura (Quadro 7 e Figuras 5 e 6), se deve à alta dosagem de potássio e fósforo aplicada nesse tratamento (Quadro 6 e Figura 1). Embora não tenha verificado efeito geral dos níveis de adubação, houve efeito significativo da interação tripla desse fator com proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos, para o segundo cultivo e soma dos cultivos (Quadro 2 A). Pode-se observar (Quadro 1 A) um maior efeito do nível 2 de adubação, em todos os parâmetros da planta, para o tratamento à temperatura ambiente, que não recebeu calcário; isso se justifica por um menor pH do solo, condicionado por esse tratamento, favorecendo a reatividade da mistura (Quadro 13). Ressalta-se que, mesmo recebendo 5 vezes mais potássio e fósforo, relativamente à fusão da mis

tura com 30 e 40% de calcário (Quadro 6), esses tratamentos foram equivalentes na acumulação de matéria seca e fósforo pela parte aérea do milho no segundo cultivo e soma dos cultivos (Quadro 1 A).

Esse efeito da mistura ao natural de verdete de Abaeté fosfato de Araxá, a qual foi aplicada em dosagens equivalentes a 10 e 20 t/ha para os níveis 1 e 2 de adubação, respectivamente, está de acordo com os resultados obtidos por LIMA et alii (35) trabalhando com cana-de-açúcar em solo de pH 4,4, testando várias rochas potássicas de baixa solubilidade. Porém, somente ocorreram respostas de produção em dosagens maciças de rochas na forma de pó, como nesse experimento. Já os trabalhos realizados com verdete de Abaeté, (18, 42, 63) não mostraram respostas do milho a essa rocha; porém, foram utilizadas dosagens aquém das utilizadas nesse experimento. O fosfato de Araxá, por outro lado, tem mostrado respostas em produção mesmo a curto prazo, mas, somente quando aplicado em condições de solo ácido e em dosagens maciças, é capaz de satisfazer um nível crítico de potencial de fosfato para as culturas, CHIEN et alii (14) e BRAGA (9).

4.3. Quantidades de potássio e fósforo acumulados pela parte aérea do milho

Os dados das quantidades de potássio e fósforo acumulados pela parte aérea do milho, referentes a cada cultivo encontram-se no Quadro 1 A, e os resumos das análises de variância dos mesmos são apresentados nos Quadros 5 A e 6 A.

Como observado para a análise de variância dos dados de produção de matéria seca, destaca-se para cada cultivo os efeitos dos tratamentos térmicos, os quais sempre interagiram com as proporções de calcário na mistura, em acumulação de potássio e fósforo pela parte aérea do milho; por outro lado, as interações com níveis de adubação nem sempre ocorreram.

Os testes das médias dos níveis de potássio e fósforo acumulados na parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, são aplicados nos Quadros 14 e 15, respectivamente. Em geral, a acumulação desses nutrientes segue as tendências observadas para a acumulação de matéria seca, em cada cultivo, especialmente para fósforo, podendo-se observar altos coeficientes de correlação positiva entre matéria seca e fósforo acumulados (Quadros 8 e 9). As curvas ajustadas relacionando essas variáveis com os tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura (Figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11), estão de acordo com essas observações.

Todavia, é importante salientar a baixa correlação observada entre as variáveis, matéria seca e potássio, acumulados pela parte aérea no segundo cultivo, referentes aos tratamentos térmicos de temperatura ambiente e 1100°C (Quadro 9). Como se pode observar no segundo cultivo (Quadro 7 e Figura 5) as maiores produções de matéria seca para esses tratamentos térmicos, em menores proporções de calcário na mistura, podem ser justificadas por uma correspondente maior disponibilidade de fósforo no solo (Quadros 9, 25 e 26). Os dados de fósforo acumulado na parte aérea, confirmam estas

QUADRO 14. Médias de potássio acumulado na parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)									
	0	10	20	30	40	50				
1º cultivo										
----- mg K/vaso -----										
Temperatura ambiente	55,56 a A	26,86 b A	24,42 b AB	27,22 b B	21,91 b B	26,45 b A				
Calcinação a 1100°C	35,60 a B	19,91 a A	15,89 a B	15,58 a B	16,96 a B	15,68 a A				
Fusão	31,39 b B	31,12 b A	36,41 b A	70,17 a A	62,15 a A	32,57 b A				
2º cultivo										
----- mg K/vaso -----										
Temperatura ambiente	38,00 b A	54,00 a A	45,31 ab AB	39,04 ab A	45,28 ab B	37,86 b B				
Calcinação a 1100°C	33,10 a A	38,51 a B	38,98 a B	37,81 a A	32,45 a C	44,28 a B				
Fusão	28,85 c A	36,96 c B	54,58 ab A	47,76 b A	66,69 a A	58,38ab A				
Soma dos cultivos										
----- mg K/vaso -----										
Temperatura ambiente	93,57 a A	80,86 ab A	69,74 ab B	66,25 b B	67,18 b B	64,31 b B				
Calcinação a 1100°C	68,69 a B	58,42 a B	54,86 a B	53,39 a B	49,41 a B	59,96 a B				
Fusão	60,25 c B	68,08 bc AB	90,99 b A	117,89 a A	128,84 a A	90,95 b A				

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

QUADRO 15. Médias de fósforo acumulado na parte aérea do milho no segundo cultivo e soma dos cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)																	
	0		10		20		30		40		50							
	2º cultivo																	
	-----mg P/vaso-----																	
Temperatura ambiente	7,05	a	A	3,18	b	A	2,39	b	A	2,29	b	B	2,14	b	B	2,24	b	B
Calcinação a 1100°C	3,10	a	B	2,82	a	A	2,34	a	A	2,22	a	B	2,23	a	B	2,16	a	B
Fusão	2,14	c	B	2,62	bc	A	2,79	bc	A	3,90	ab	A	4,95	a	A	3,40	bc	A
Testemunha	2,17																	
Completo	18,77																	
	Soma dos cultivos																	
	-----mg P/vaso-----																	
Temperatura ambiente	10,15	a	A	5,32	b	A	4,51	b	A	4,50	b	B	4,13	b	B	4,36	b	A
Calcinação a 1100°C	5,36	a	B	4,76	a	A	4,48	a	A	5,46	a	AB	4,73	a	B	4,04	a	A
Fusão	4,27	b	B	4,96	ab	A	5,41	ab	A	7,73	a	A	7,85	a	A	6,05	b	A
Testemunha	4,26																	
Completo	60,00																	

Para cada cultivo, médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

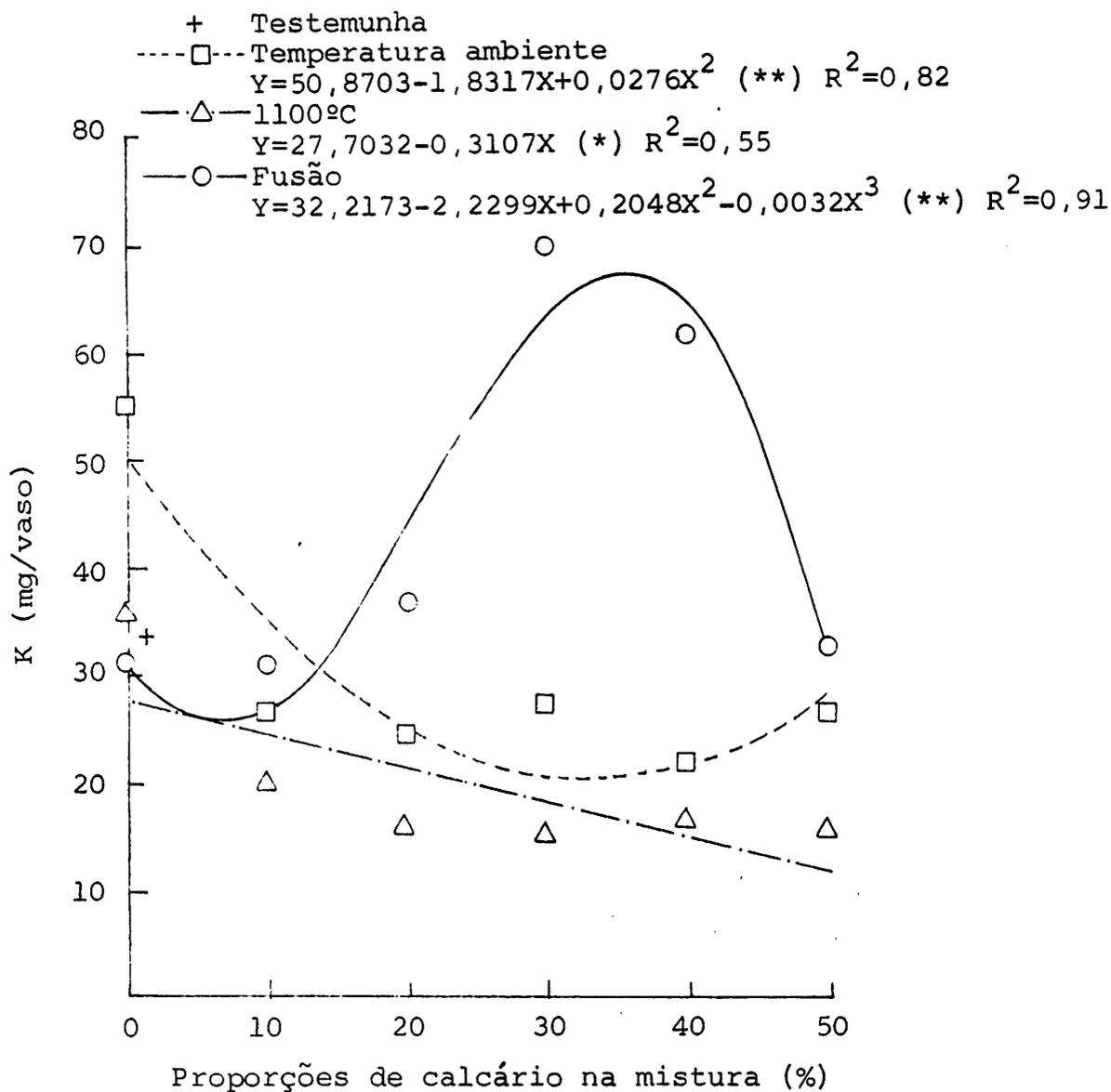


FIGURA 7. Potássio acumulado na parte aérea do milho, no primeiro cultivo, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(*) Equação de regressão significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de "F".

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

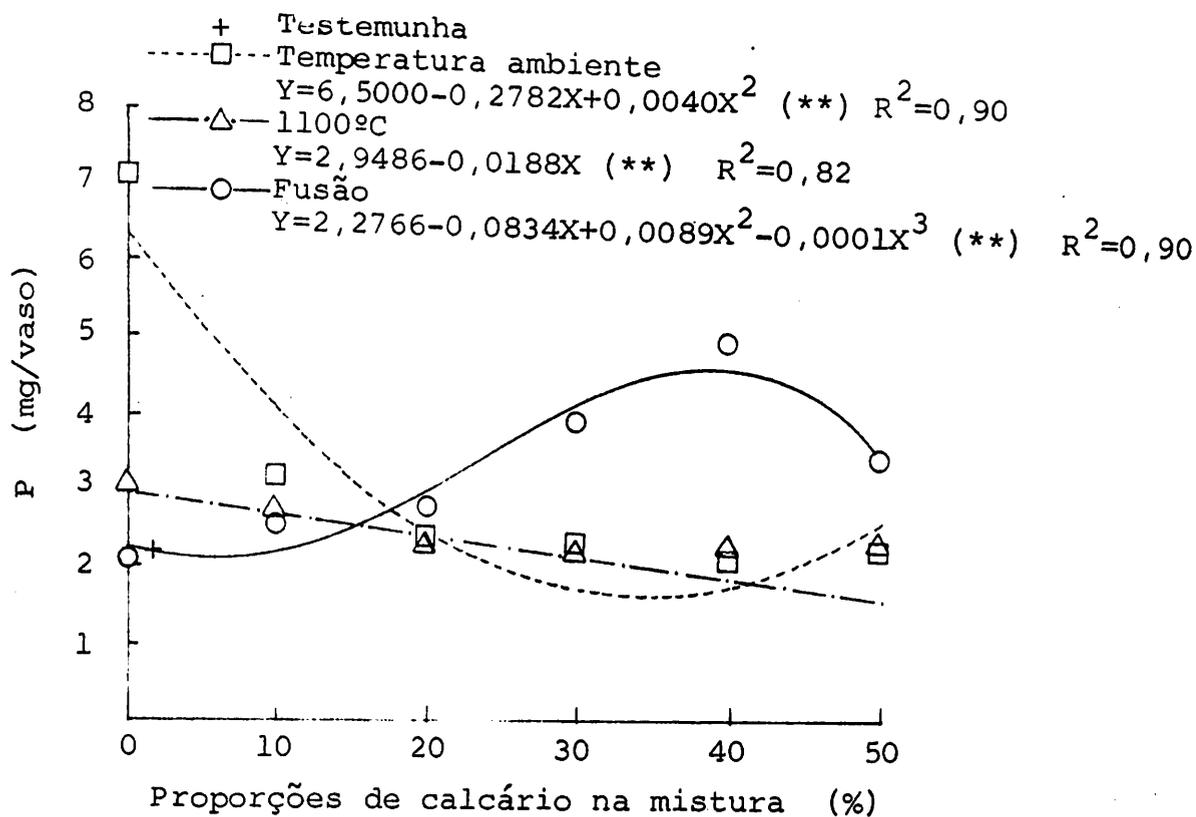


FIGURA 8. Fósforo acumulado na parte aérea do milho, no segundo cultivo, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

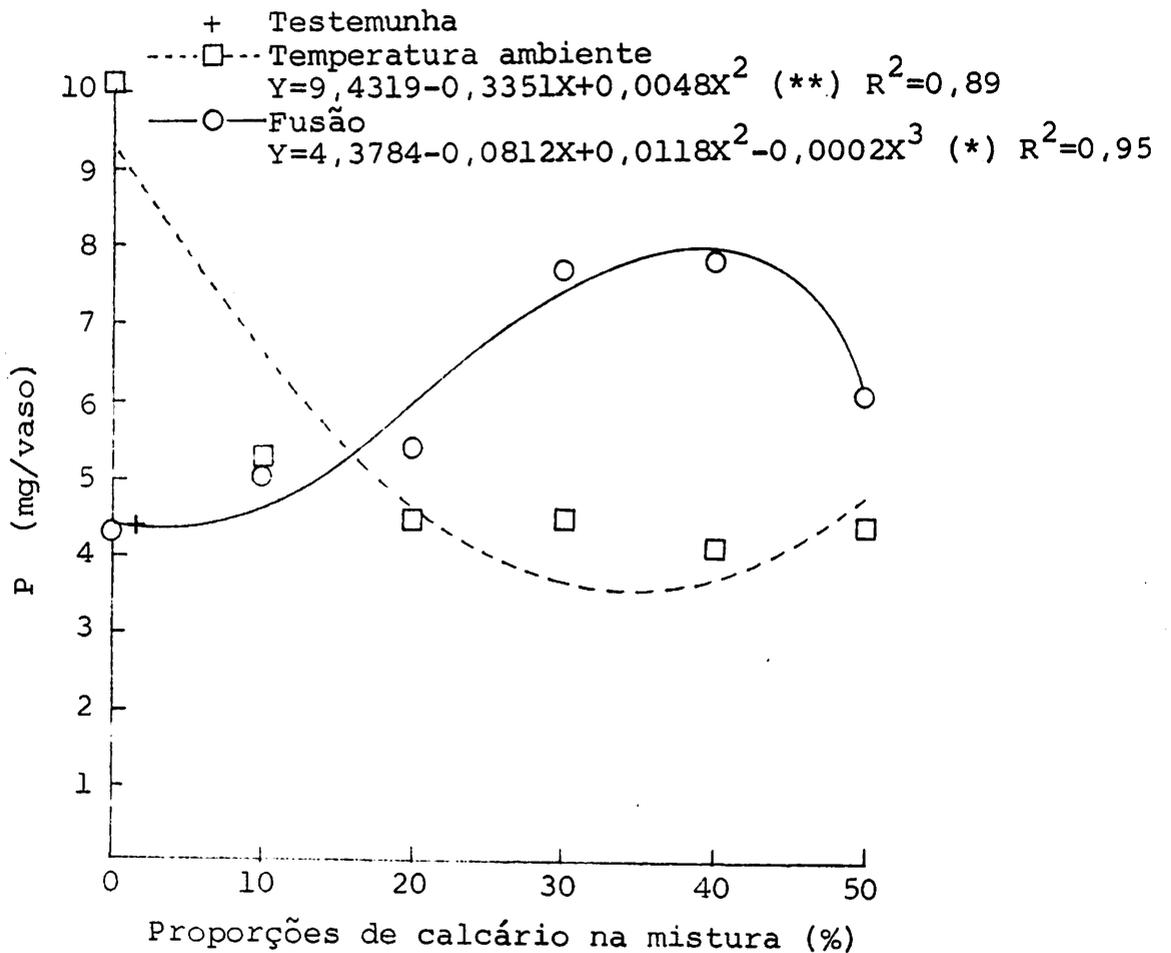


FIGURA 9. Fósforo total acumulado na parte aérea do milho em dois cultivos, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras - MG. 1984.

- (*) Equação de regressão significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de "F"
- (**) Equação de regressão significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

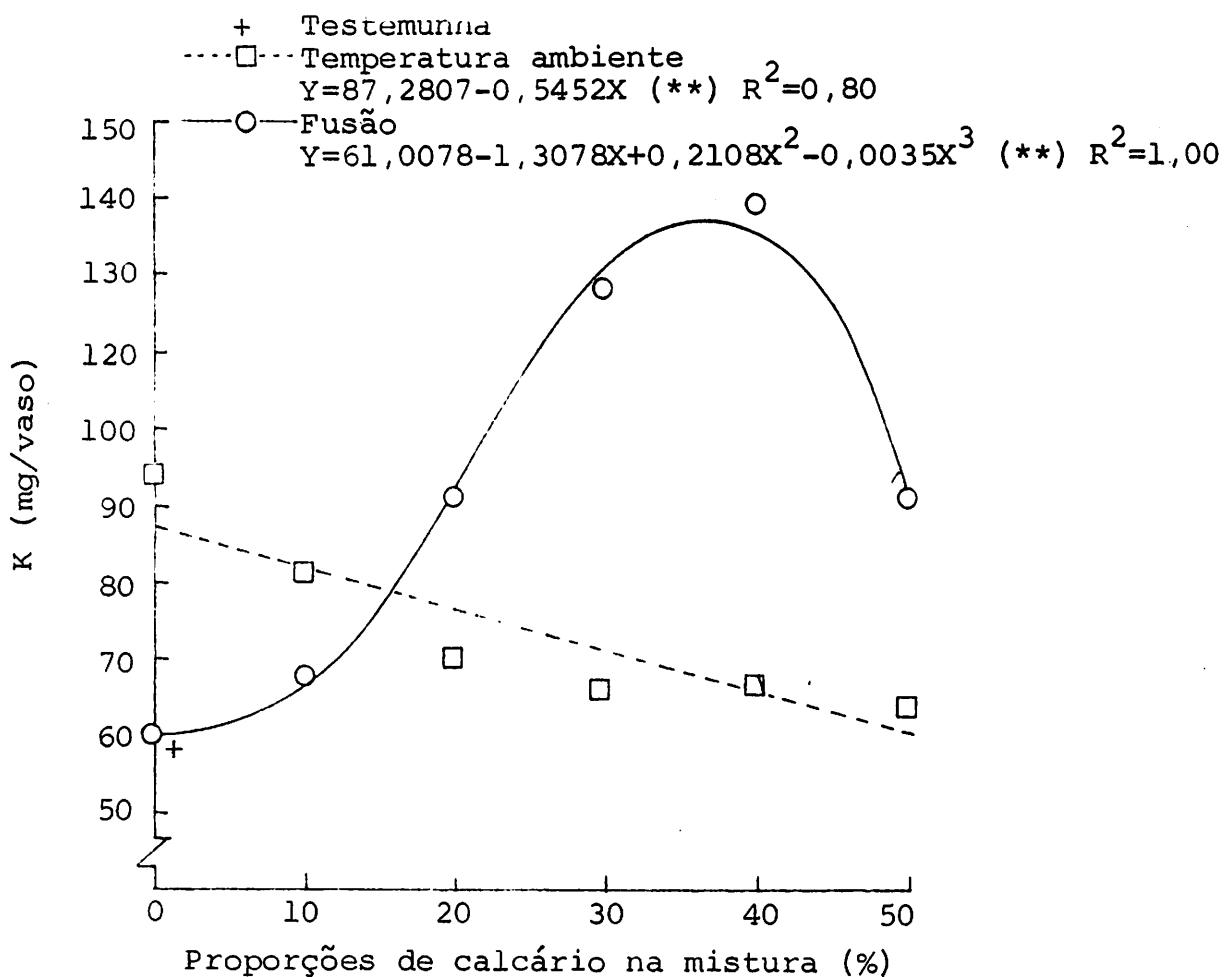


FIGURA 10. Potássio total acumulado na parte aérea do milho, em dois cultivos, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

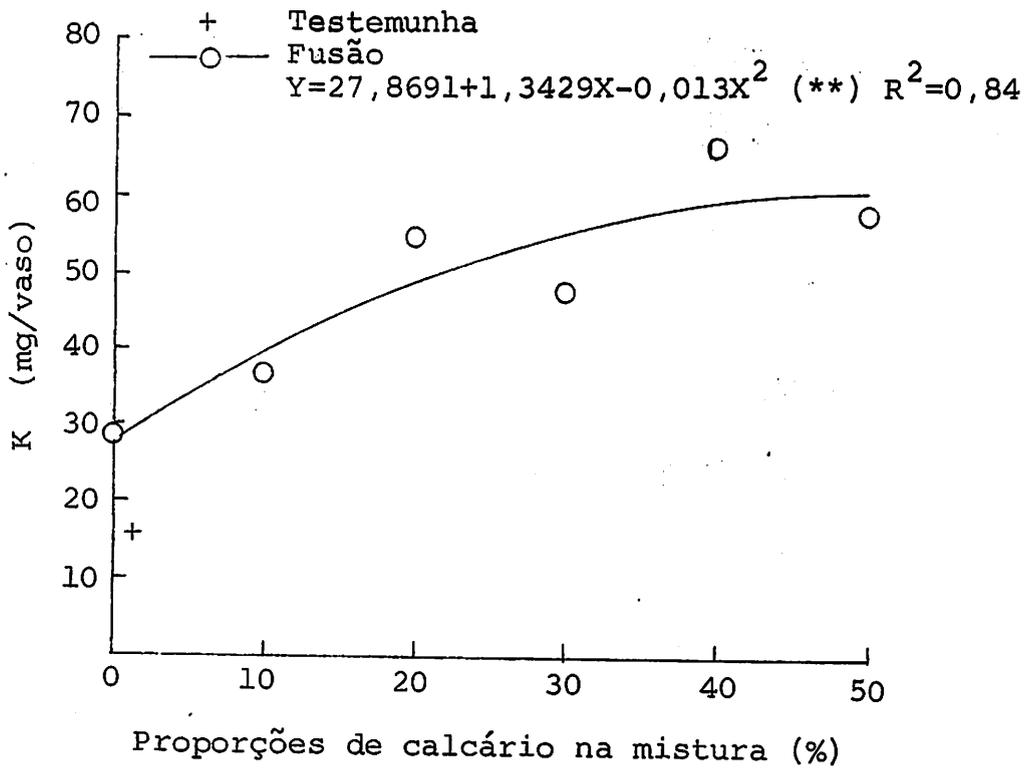


FIGURA 11. Potássio acumulado na parte aérea do milho, no segundo cultivo, em função das proporções de calcário na mistura, tratamento térmico à fusão e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equação de regressão significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

observações (Figura 8). Enquanto a "disponibilidade" de potássio aumentou ligeiramente a maiores teores de calcário na mistura (Quadro 18 e Figura 12), a "disponibilidade" de fósforo foi reduzida, ocasionando menor produção de matéria seca e menor absorção de fósforo; porém, a absorção de potássio comportou-se indiferente a esses fatores (Quadro 16).

A alta correlação entre potássio e/ou fósforo absorvidos em cada cultivo com as respectivas produções de matéria seca, observada para os tratamentos térmicos de fusão, evidencia uma maior eficiência agronômica desses nutrientes para esse grupo de tratamentos (Quadros 8 e 9). Maiores produções de matéria seca para a mistura fundida com 30 e 40% de calcário magnesiano, correspondem a maiores absorções de potássio e fósforo. Se se compara a acumulação total de matéria seca (Figura 6) com as acumulações totais de fósforo (Figura 9) e de potássio (Figura 10), verifica-se a semelhança entre as curvas ajustadas para esses parâmetros em função das proporções de calcário na mistura submetida ao tratamento de fusão. Observa-se (Figura 10) que a acumulação total de potássio pela parte aérea do milho nos tratamentos térmicos de fusão da mistura com 30 e 40% de calcário magnesiano foi muito superior aos demais tratamentos; porém, para acumulação total de fósforo na parte aérea (Figura 9), o tratamento térmico de temperatura ambiente, sem calcário na mistura, tendeu a acumular maiores quantidades de fósforo na matéria seca, evidenciando uma maior "disponibilidade" de fósforo para esse tratamento, o qual recebeu dosagens maciças de potássio e fósforo (Quadro 6).

QUADRO 16. Médias de potássio acumulado na parte aérea do milho no primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	Proporções de calcário na mistura (%)					
	0	10	20	30	40	50
1º cultivo						
----- mg K/vaso -----						
Nível 1	35,73 a A	27,38 a A	22,63 a A	30,79 a B	37,60 a A	23,24 a A
Nível 2	45,96 a A	24,55 c A	28,52 bc A	44,49 ab A	29,74 abc A	26,56 bc A
Testemunha Completo	33,41		246,36			
2º cultivo						
----- mg K/vaso -----						
Nível 1	33,66 b A	39,78 ab A	46,09 ab A	46,82 a A	38,00 ab B	45,81 ab A
Nível 2	32,98 c A	46,53 ab A	46,49 ab A	36,25 bc B	58,28 a A	47,87 ab A
Testemunha Completo	23,54		11,28			

Para cada cultivo, médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Houve efeito dos níveis de adubação na acumulação de potássio e fósforo (Quadros 5 A e 6 A). Em geral, apenas os tratamentos térmicos das misturas adicionadas de 30 e 40% de calcário, responderam positivamente em acumulação de potássio ao nível 2 de adubação no primeiro e segundo cultivos, respectivamente (Quadro 16); o mesmo ocorrendo para os tratamentos que receberam fusão, os quais promoveram maior acumulação de potássio no primeiro cultivo e soma dos cultivos, para ambos os níveis de adubação (Quadro 17). Por outro lado, a cultura respondeu positivamente ao nível 2 de adubação, em acumulação de fósforo, apenas no segundo cultivo (Quadros 6 A e 1 A). Especialmente, os tratamentos térmicos de fusão da mistura com 30 e 40% de calcário magnesiano, e a mistura tratada à temperatura ambiente sem calcário, promoveram maior acúmulo de fósforo pela parte aérea do milho no nível 2 de adubação (Quadro 1 A), podendo observar a significância da interação tripla dos fatores na análise de variância (Quadro 6 A).

4.4. Disponibilidade de potássio no solo

Os dados referentes aos teores de potássio disponível e potássio solúvel em HNO_3 LN a quente, obtidos após cada cultivo para os diversos tratamentos, estão no Quadro 7 A. Os resumos das análises de variância dos mesmos estão nos Quadros 8 A e 9 A.

Os fatores testados, níveis de adubação, proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos, influenciaram os teores de potássio disponível e potássio solúvel em HNO_3 LN a quente, após

QUADRO 17. Médias de potássio acumulado na parte aérea do milho no primeiro cultivo e soma dos cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	1º cultivo			Soma dos cultivos		
	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão
	----- mg K/vaso -----					
Nível 1	28,17 b A	21,32 b A	39,21 a A	68,46 b B	59,51 b A	85,81 a B
Nível 2	32,64 b A	18,55 c A	48,72 a A	78,85 b A	55,41 c A	99,86 a A
Testemunha	33,41			56,95		
Completo	246,36			257,64		

Para cada cultivo, médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

cada cultivo (Quadros 8 A e 9 A).

A não significância do teste "F" (Quadros 8 A e 9 A) para a comparação entre os tratamentos adicionais, evidencia que o efeito da fonte solúvel de potássio (KCl) foi apenas no primeiro cultivo (Quadro 16), sem efeito residual no solo ou seja, a parte aérea do milho acumulou a quase totalidade dos 300 mg de potássio aplicados por vaso (Quadro 6); podendo uma menor parte ser acumulada no sistema radicular da cultura.

Já a comparação do fatorial com os adicionais, foi significativa para ambos os índices de disponibilidade de potássio, avaliados após cada cultivo (Quadros 8 A e 9 A), evidenciando que, em geral, as fontes de potássio adicionadas ao solo aumentaram os níveis de potássio "disponível", após cada cultivo de milho.

A magnitude dos teores de potássio disponível após cada cultivo (Quadros 18, 19 e 20 e Figuras 12, 13) é a resultante da solubilidade dos diversos materiais e das quantidades de potássio absorvido pela cultura anteriormente.

A disponibilidade de potássio, independentemente dos níveis de adubação, avaliada após o primeiro cultivo para as diferentes combinações de tratamentos térmicos em misturas com teores variáveis de calcário, é avaliada no Quadro 18 e Figura 12. As misturas fundidas na presença de calcário magnesiano apresentaram, em geral, maiores níveis de potássio residual, disponível no solo, ainda que tenham promovido maiores acúmulos desse nutriente na matéria seca (Figura 7). Apenas as misturas tratadas a 1100°C, adicio-

QUADRO 18. Médias de potássio disponível (Mehlich) após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)											
	0		10		20		30		40		50	
1º cultivo												
----- K - ppm -----												
Temperatura ambiente	22,50	c B	29,67	abc B	31,17	ab C	35,33	a B	32,67	ab B	30,33	abc B
Calcinação a 1100°C	25,00	c B	29,50	c B	39,17	b B	52,83	a A	57,50	a A	53,83	a A
Fusão	32,33	c A	77,67	a A	75,67	a A	54,17	b A	53,83	b A	55,33	b A
Testemunha	16,67											
Completo	14,67											
2º cultivo												
----- K - ppm -----												
Temperatura ambiente	8,83	b A	12,00	ab B	14,17	ab C	14,33	ab B	20,33	a B	16,00	ab B
Calcinação a 1100°C	11,83	d A	16,67	cd B	24,67	bc B	35,33	a A	37,33	a A	32,33	ab A
Fusão	15,50	c A	58,33	a A	49,83	a A	30,83	b A	18,83	c B	28,50	b A
Testemunha	7,00											
Completo	6,00											

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

QUADRO 19. Médias de potássio disponível (Mehlich), após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	1º cultivo			2º cultivo		
	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão
	----- K - ppm -----					
Nível 1	28,39 c B	37,33 b B	45,67 a B	11,72 b B	19,39 a B	22,94 a B
Nível 2	32,17 c A	48,61 b A	70,67 a A	16,83 c A	33,33 b A	44,33 a A
Testemunha		16,67			7,00	
Completo		14,67			6,00	

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

QUADRO 20. Médias de potássio disponível (Mehlich) após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos níveis de adubação e proporções de calcário na mistura, teste munha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	Proporções de calcário na mistura (%)					
	0	10	20	30	40	50
1º cultivo						
----- K - ppm -----						
Nível 1	24,67 c A	37,44 ab B	41,56 ab B	43,44 a B	35,56 b B	40,11 ab B
Nível 2	28,56 c A	53,78 b A	55,78 ab A	51,44 b A	60,44 a A	52,89 b A
Testemunha	16,67					
Completo	14,67					
2º cultivo						
----- K - ppm -----						
Nível 1	9,56 c A	22,67 a B	23,00 a B	18,67 ab B	14,33 bc B	19,89 ab B
Nível 2	14,56 b A	35,33 a A	36,11 a A	35,00 a A	36,67 a A	31,33 a A
Testemunha	7,00					
Completo	6,00					

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

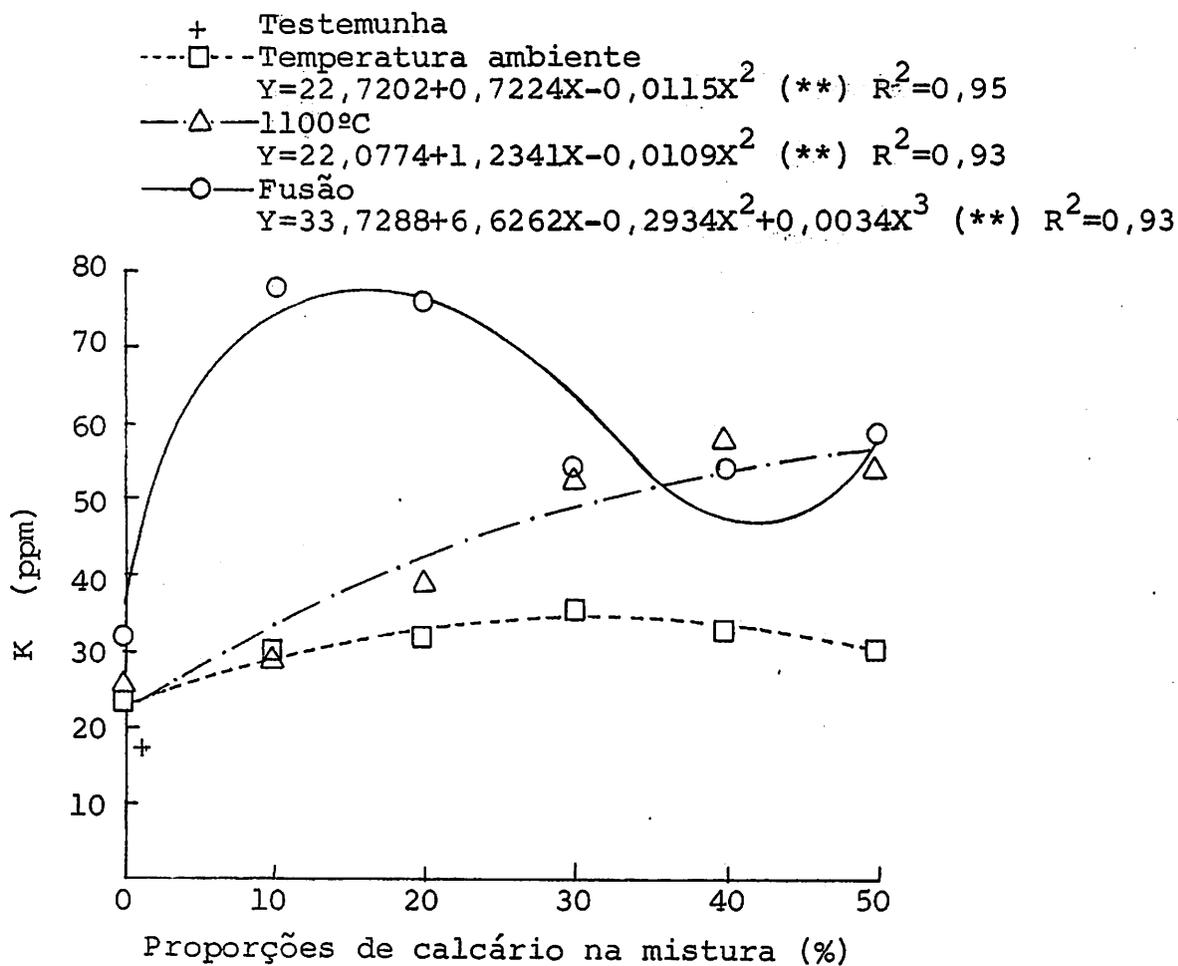


FIGURA 12. Potássio disponível (Mehlich) no material do solo após o primeiro cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

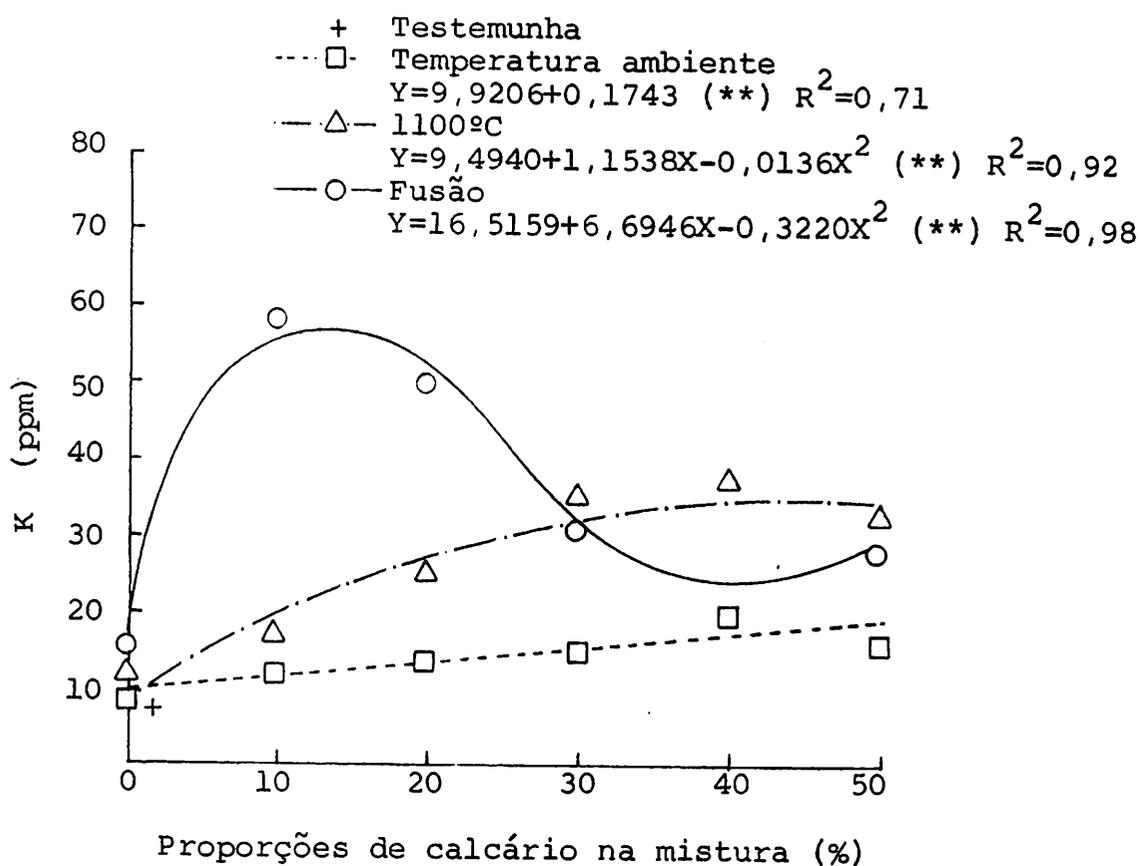


FIGURA 13. Potássio disponível (Mehlich) no material de solo, após o segundo cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

nadas de altos teores de calcário, apresentaram disponibilidade de potássio equiparável aos tratamentos anteriores (Quadro 18 e Figura 12), fato justificado pela menor absorção desse nutriente na matéria seca do primeiro cultivo, para esses tratamentos (Quadro 14 e Figura 7).

Considerando as quantidades de potássio absorvidas no primeiro cultivo (Figura 7) e os níveis de disponibilidade no solo logo após (Figura 12), depreende-se que a solubilidade de potássio das misturas tratadas a 1100°C, aumentou ligeiramente a maiores teores de calcário magnesiano adicionado nas mesmas. Nota-se, também, uma equivalência de solubilidade desse nutriente entre as misturas fundidas com quaisquer proporções de calcário magnesiano adicionado nas mesmas. Assim, convertendo as quantidades de potássio absorvido pela parte aérea do milho no primeiro cultivo (Quadro 14) em equivalentes ppm no solo, e somando com os níveis (ppm) de potássio disponível (Quadro 18), obtem-se 88,0; 87,8; 77,6; 74,6 e 66,2 ppm para as misturas fundidas com 10, 20, 30, 40 e 50% de calcário magnesiano, respectivamente. Outrossim, as diferenças entre esses valores podem ser decorrentes das prováveis maiores acumulações de potássio no sistema radicular da cultura que recebeu misturas com maiores proporções de calcário, visto que essas promoveram maior produção de matéria seca no primeiro cultivo (Figura 4). Contudo, o nível de 66,2 ppm de potássio disponível referente à mistura fundida com 50% de calcário, se comparado com o pequeno desempenho desse tratamento em produção de matéria seca no primeiro cultivo (Figura 4), evidencia uma menor solubilidade desse tratamento no solo,

confirmando a já verificada menor solubilidade relativa dessa mistura em HNO_3 1N a quente (Figura 2).

O potássio disponível no solo após o segundo cultivo, independentemente dos níveis de adubação, é avaliado no Quadro 18 e Figura 13. Observa-se que os diversos tratamentos apresentaram as mesmas tendências de disponibilidade que ocorreram após o primeiro cultivo, porém, a magnitude dos valores de potássio disponível foi reduzida do primeiro para o segundo cultivo em função do potássio absorvido (Quadro 16 e Figura 11). Independentemente das proporções de calcário magnesiano na mistura, os tratamentos térmicos de fusão promoveram maior disponibilidade do potássio no solo, e os tratamentos de temperatura ambiente apresentaram-se inferiores aos demais (Quadro 19). O nível 2 de adubação foi superior ao nível 1 de adubação em aumentar a disponibilidade do potássio no solo, independentemente das proporções de calcário na mistura (Quadro 19) ou dos tratamentos térmicos (Quadro 20). Ressalta-se a inferioridade das misturas tratadas termicamente sem calcário (Quadro 20).

Os níveis de potássio do solo, solúvel em HNO_3 1N a quente, após cada cultivo, independentemente dos níveis de adubação, estão no Quadro 21, e melhor visualizados nas Figuras 14 e 15. Ressalta-se que todos os tratamentos receberam, como média dos níveis de adubação (50 e 100 ppm) 75 ppm de potássio solúvel em HNO_3 1N a quente (relação 1:50).

É interessante notar que apenas os padrões de absorção de potássio pela cultura, como avaliado na parte aérea do primeiro cul

QUADRO 21. Médias de potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos tratamentos térmicos, proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)											
	0		10		20		30		40		50	
1º cultivo												
-----K ppm-----												
Temperatura ambiente	65,68 a A	78,14 a B	78,01 a B	74,76 a B	79,58 a B	76,22 a B						
Calcinação a 1100°C	70,04 c A	73,43 bc B	91,23 abc AB	111,16 a A	108,70 a A	94,73 ab A						
Fusão	78,50 c A	118,87 a A	100,55 ab A	79,37 bc B	76,86 c B	85,02 bc B						
Testemunha	39,64											
Completo	39,72											
2º cultivo												
-----K ppm-----												
Temperatura ambiente	47,31 a A	52,40 a B	56,13 a B	57,30 a B	63,72 a B	60,32 a AB						
Calcinação a 1100°C	56,60 cd A	55,06 d B	72,03 bcd A	84,19 ab A	96,88 a A	73,14 bc A						
Fusão	61,22 bc A	94,79 a A	72,94 b A	50,57 cd B	39,28 d C	57,09 b B						
Testemunha	28,34											
Completo	27,59											

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

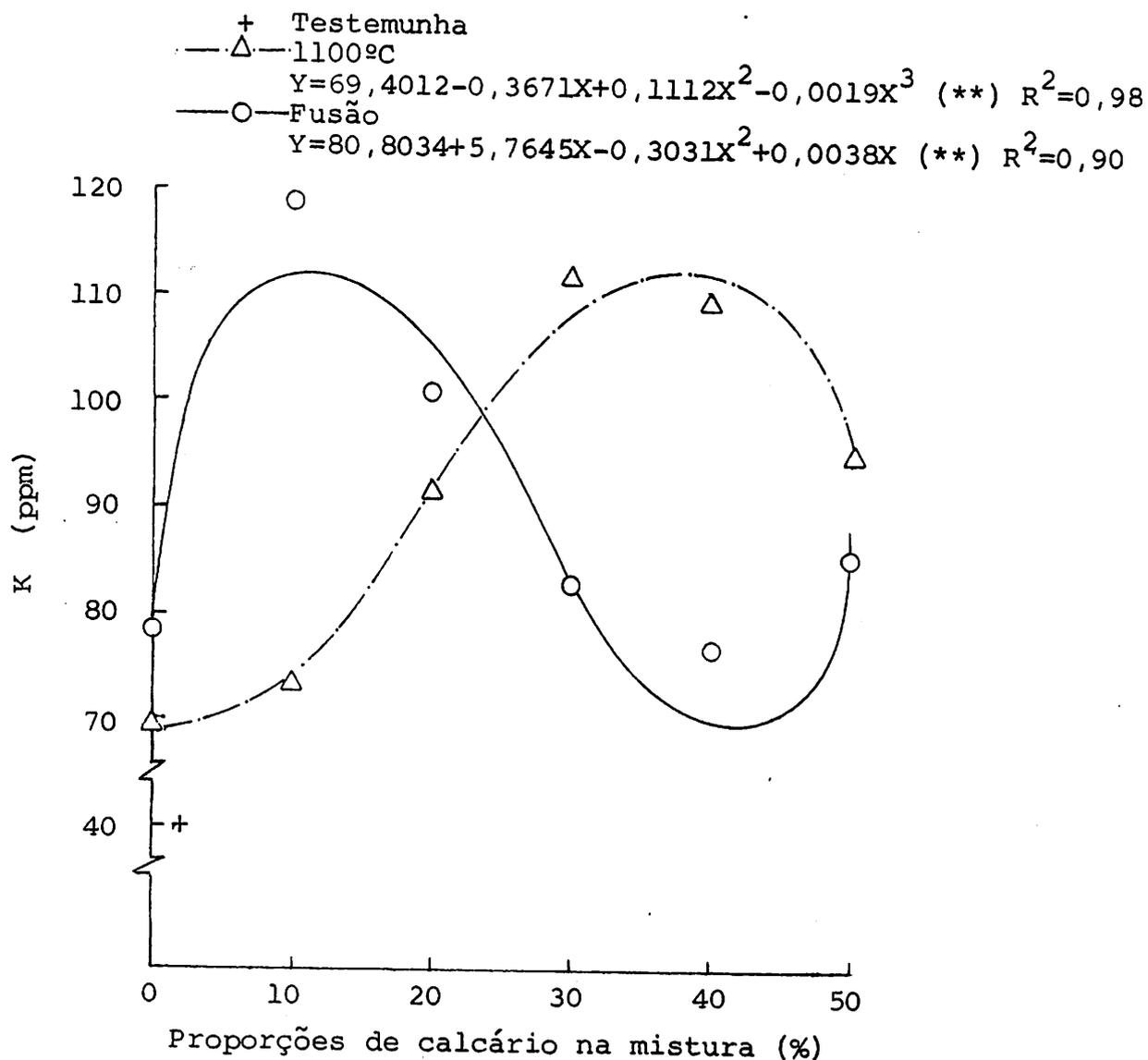


FIGURA 14. Potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o primeiro cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**). Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

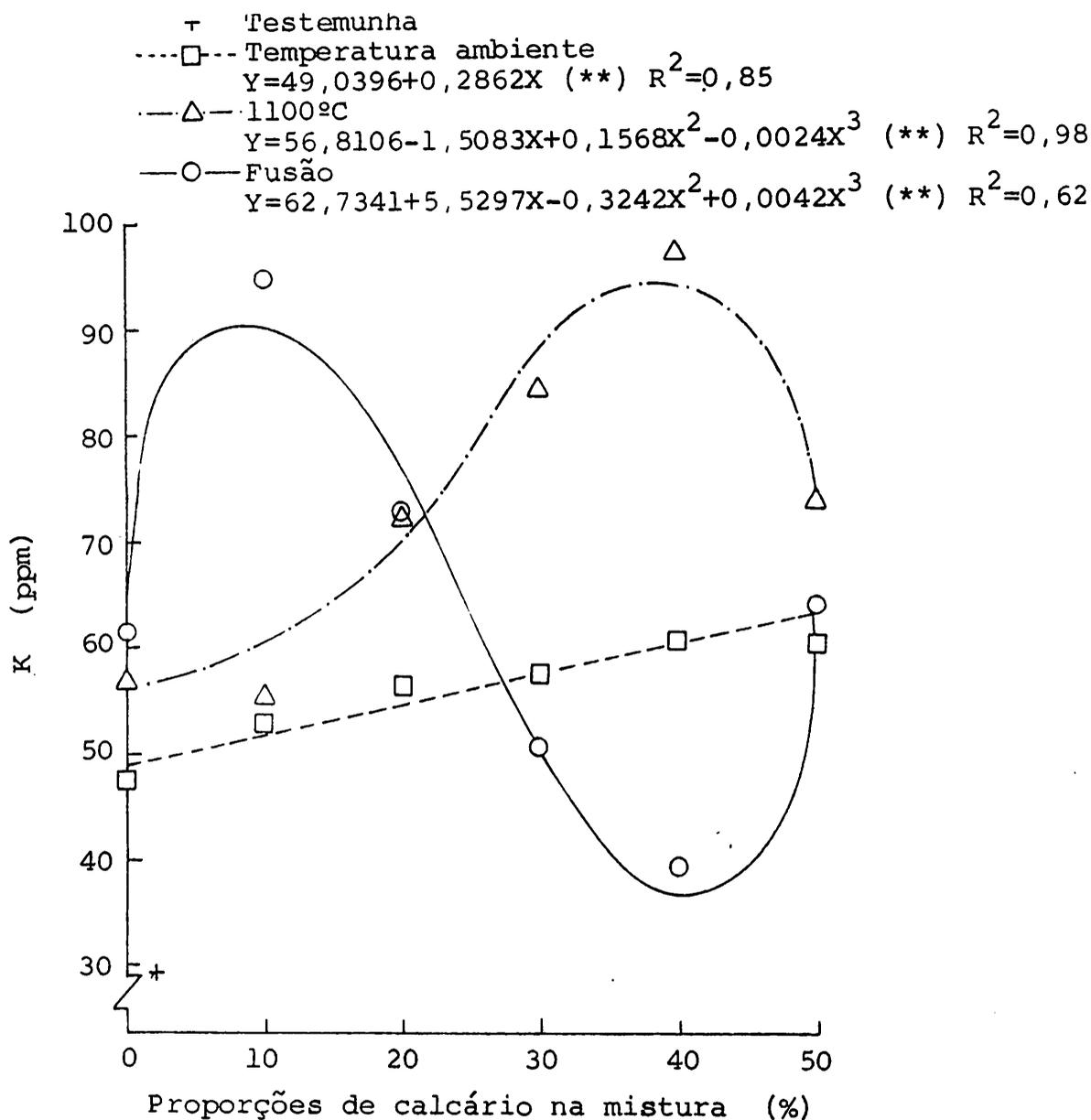


FIGURA 15. Potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o segundo cultivo de milho, em função das proporções de calcário na mistura, tratamentos térmicos e testemunha. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

tivo (Quadro 14 e Figura 7), não justificam todas as variações entre os níveis de potássio solúvel em HNO_3 para os diversos tratamentos, avaliados no solo após esse cultivo (Quadro 21 e Figura 14). Assim, mesmo admitindo uma acumulação de potássio no sistema radicular equivalente ao acumulado pela parte aérea do milho e considerando a contribuição do solo natural, observa-se que os teores de potássio solúvel em HNO_3 após o primeiro cultivo (Quadro 21) não foram os esperados para certos tratamentos. Nota-se que apenas as misturas fundidas com 10, 20, 30 e 40% de calcário magnesiano e aquelas tratadas a 1100°C com 30 e 40% de calcário magnesiano, corresponderam às expectativas. Resulta-se que, para os demais tratamentos, parte do potássio solúvel em HNO_3 aplicado não foi solubilizado na análise de solo, sugerindo que a fração não solúvel no solo é de menor disponibilidade. Vale ressaltar que na análise de solubilidade em HNO_3 a quente, realizada nos materiais após os tratamentos térmicos, utilizou-se da relação 1:50 (peso da amostra: volume de ácido), enquanto que na análise similar de solo utilizou-se da relação 1:25; esse fato, aliado a possível interação dos materiais com o solo, justifica em parte os resultados obtidos no Quadro 21, e evidencia a dificuldade em prever a eficiência agrônômica desses materiais sem testá-los no solo com uma cultura teste.

Outrossim, tomando os padrões de solubilidade de potássio do solo em HNO_3 como índice de disponibilidade de potássio, segundo PRATT (54) ou "potássio disponível a longo prazo", segundo FASSBENDER (21), aliado aos teores de potássio disponível, pode-se ava

liar melhor a solubilidade dos materiais no solo.

Parte do potássio do solo, solúvel em HNO_3 , tornou-se disponível à cultura, evidenciado pela queda dos seus níveis do primeiro para o segundo cultivo (Quadro 21). Ademais, a alta correlação positiva entre potássio disponível e potássio solúvel em HNO_3 (Quadro 22), evidencia alguma semelhança entre essas duas formas de potássio no solo, como observado por EICHLER (18) em solo LVm e LEa, e por OLIVEIRA et alii (52) em solos do Rio Grande do Sul.

Houve uma maior queda do potássio solúvel em HNO_3 do primeiro para o segundo cultivo, para as misturas fundidas com 30 e 40% de calcário magnesiano, relativamente aos demais tratamentos (Figuras 14 e 15). Isso vem mostrar que a maior parte do potássio dessas misturas, é disponível e absorvida pela cultura do milho em apenas dois cultivos sucessivos; nota-se que a mistura fundida com 40% de calcário magnesiano, apresentou efeito residual apenas ligeiramente maior que a testemunha, após o segundo cultivo (Quadro 21 e Figura 15).

Como se observa no Quadro 23, o nível 2 de adubação promoveu, após cada cultivo, maiores teores de potássio solúvel em HNO_3 para todos os tratamentos térmicos, independentemente das proporções de calcário na mistura. Ressalta-se que o tratamento térmico de temperatura ambiente apresentou, após ambos os cultivos, as menores solubilidades de potássio, evidenciando a sua baixa disponibilidade para potássio a longo prazo no solo. Já o tratamento térmico de fusão apresentou-se inferior ao tratamento a 1100°C apenas

QUADRO 22. Coeficientes de correlação de Pearson e níveis de significância pelo teste "T" entre algumas variáveis em destaque, referentes aos tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG., 1984.

Variáveis	Temperatura ambiente		Calcinção a 1100°C		Fusão	
	r	N.S. (%)	r	N.S. (%)	r	N.S. (%)
P - Mehlich x P absorvido posteriormente	0,32	2,72	0,47	0,18	-0,01	45,82
P - Bray I x P absorvido posteriormente	0,58	0,01	-0,16	16,77	0,39	0,99
P - Olsen x P absorvido posteriormente	0,32	2,71	-0,45	0,31	0,14	20,33
K - Mehlich x K absorvido posteriormente	0,42	0,55	0,09	30,06	0,38	1,13
K - HNO ₃ LN x K absorvido posteriormente	0,19	13,25	0,04	40,05	0,11	25,08
K - Mehlich x K - HNO ₃ LN	0,38	1,08	0,75	0,00	0,76	0,00
P - Bray I após 2º cultivo x pH após 2º cultivo	-0,70	0,00	0,18	14,36	0,94	0,00

QUADRO 23. Médias de potássio solúvel em HNO_3 1N a quente, após o primeiro e segundo cultivos de milho, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	1º cultivo			2º cultivo		
	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão
	----- K - ppm -----					
Nível 1	69,17 a B	72,84 a B	72,38 a B	48,52 b B	57,95 a B	48,83 b B
Nível 2	81,64 b A	110,25 a A	107,34 a A	63,87 c A	88,03 a A	76,47 b A
Testemunha	39,64			28,34		
Completo	39,72			27,59		

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

no segundo cultivo, em função da maior absorção de potássio pela cultura, proveniente do primeiro.

4.5. Disponibilidade de fósforo no solo

O uso de três extratores diferentes para fósforo, os quais foram testados para cada tratamento térmico das misturas, permite discutir a reatividade no solo dos materiais tratados.

Os dados de fósforo solúvel no solo para os extratores de Mehlich, Bray I e Olsen são apresentados no Quadro 10 A. Os resultados das análises de variância para os extratores de Mehlich e Bray I estão nos Quadros 11 A e 12 A, os quais mostram efeito significativo para a maioria dos fatores, bem como interações entre fatores.

Correlacionando-se os valores de fósforo solúvel em cada extrator com o fósforo acumulado e matéria seca da parte aérea do milho no cultivo seguinte, observa-se comportamentos diferenciados entre os extratores utilizados (Quadros 9 e 22). Verifica-se ainda, que os coeficientes de correlação linear variaram entre os tratamentos térmicos, considerando um mesmo extrator de fósforo.

Os teores de fósforo solúvel nos extratores de Bray I e Mehlich correlacionaram-se melhor com o fósforo acumulado e matéria seca da parte aérea do milho no cultivo seguinte; ainda que não houve correlação para o Bray I com o grupo de tratamentos que receberam 1100°C, e para o Mehlich com o grupo de tratamentos que

receberam fusão (Quadros 9 e 22).

Esses resultados não parecem questionáveis, pois, sabe-se da literatura (31, 32, 55) que o extrator de Bray I é eficaz em dissolver os fosfatos de Al, destacando-se o papel do F^- como íon complexante de cátions ligados ao fosfato, desestabilizando as formas Al-P e Ca HPO_4 . Já o extrator de Mehlich, segundo KAMPRATH & WATSON (31) se caracteriza por sua ação ácida solvente, apresentando os constituintes fosfatados de maior solubilidade na ordem Ca-P > Al-P > Fe-P; sendo que em solos de mineralogia caolinítica, menos argilosos, com conseqüente baixa CTC (o que muito se assemelha a esse solo, Quadro 4), esse método tem apresentado correlações mais altas com dados da planta.

A taxa de dissolução de fosfatos de rocha aplicados ao solo, pode ser avaliada utilizando dos teores de fósforo solúvel nos extratores Bray I e Olsen, sendo que estes teores são tidos como produtos de reação desses materiais no solo, segundo KHASAWEH & DOLL (32).

Em princípio, pode-se comparar a eficiência relativa dos tratamentos, medindo seus produtos de reação no solo com o decorrer dos cultivos, utilizando dos níveis de fósforo solúvel no extrator de Bray I. Ademais, os coeficientes de correlação linear obtidos na avaliação do fósforo disponível com esse extrator (Quadro 22), para as misturas tratadas à temperatura ambiente ($r= 0,58$) e de fusão ($r= 0,39$), permitem avaliar em certo nível a eficiência agrônômica para fósforo dos diversos tratamentos.

Em geral, independentemente dos níveis de adubação, os teores de fósforo solúvel no extrator Bray I, após cada cultivo, são de magnitude intermediária aos medidos na testemunha e completo (Quadro 24). Porém, ainda que a maioria dos tratamentos esteja na faixa de "disponibilidade" de fósforo apresentada pela testemunha, ocorreu um aumento repentino na reatividade para os tratamentos térmicos à temperatura de fusão na mistura adicionada de 30, 40 e 50% de calcário magnesiano (Quadro 24 e Figuras 16 e 17).

O efeito dos níveis de adubação, em função dos tratamentos térmicos, pode ser visto no Quadro 25. Observa-se maiores teores de fósforo solúvel para o nível 2 de adubação em todos os tratamentos térmicos, após cada cultivo. Destaca-se a superioridade marcante dos tratamentos de fusão, e a igualdade dos demais tratamentos, em "disponibilidade" de fósforo e/ou reatividade no solo, avaliadas pelo extrator Bray I. Ao considerar o efeito da interação entre níveis de adubação, proporções de calcário magnesiano na mistura e tratamentos térmicos, conforme Quadro 12 A, e recorrendo aos dados médios de fósforo avaliados com o Bray I (Quadro 10 A), nota-se maiores respostas do nível 2 de adubação para as misturas fundidas com 30, 40 e 50% de calcário magnesiano; contudo, os valores máximos de fósforo solúvel no Bray I foram obtidos com a mistura adicionada de 50% de calcário magnesiano recebendo o tratamento de fusão, a qual aplicada no nível 2 de adubação apresentou valores muito próximos àqueles do tratamento completo (Quadro 10 A). Vale ressaltar que as diferenças em fósforo solúvel no Bray I entre os tratamentos, não se justificam pela dosagem de fósforo aplicada (Quadro 6

QUADRO 24. Médias de fósforo solúvel no extrator Bray I após o primeiro e segundo cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)											
	0		10		20		30		40		50	
1º cultivo												
----- P - ppm -----												
Temperatura ambiente	6,83	a A	5,26	a A	4,06	a A	4,57	a B	4,21	a B	4,38	a B
Calcinação a 1100°C	3,92	a B	5,45	a A	5,46	a A	5,72	a B	4,44	a B	3,96	a B
Fusão	3,01	d B	3,70	d A	6,06	d A	13,21	c A	17,45	b A	41,34	a A
Testemunha	1,73											
Completo	68,88											
2º cultivo												
----- P - ppm -----												
Temperatura ambiente	7,40	a A	3,96	b A	2,96	b B	3,35	b B	3,04	b B	3,13	b B
Calcinação a 1100°C	3,75	a B	3,98	a A	4,04	a AB	4,17	a B	3,20	b B	2,79	b B
Fusão	2,07	e B	3,05	de A	4,96	d A	10,04	c A	14,30	b A	36,97	a A
Testemunha	0,75											
Completo	50,24											

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

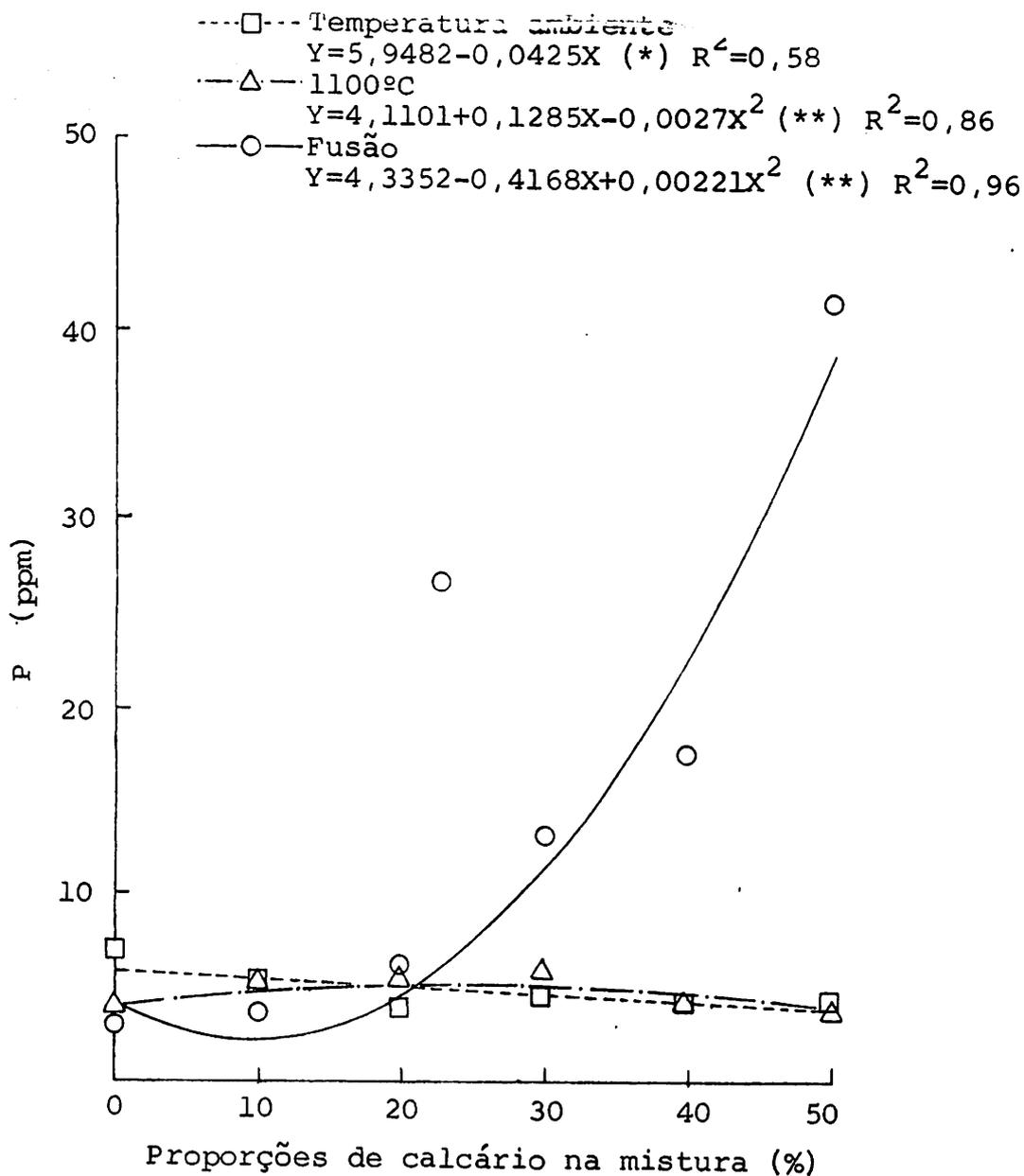


FIGURA 16. Fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o primeiro cultivo, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

- (*) Equação de regressão significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de "F".
- (**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

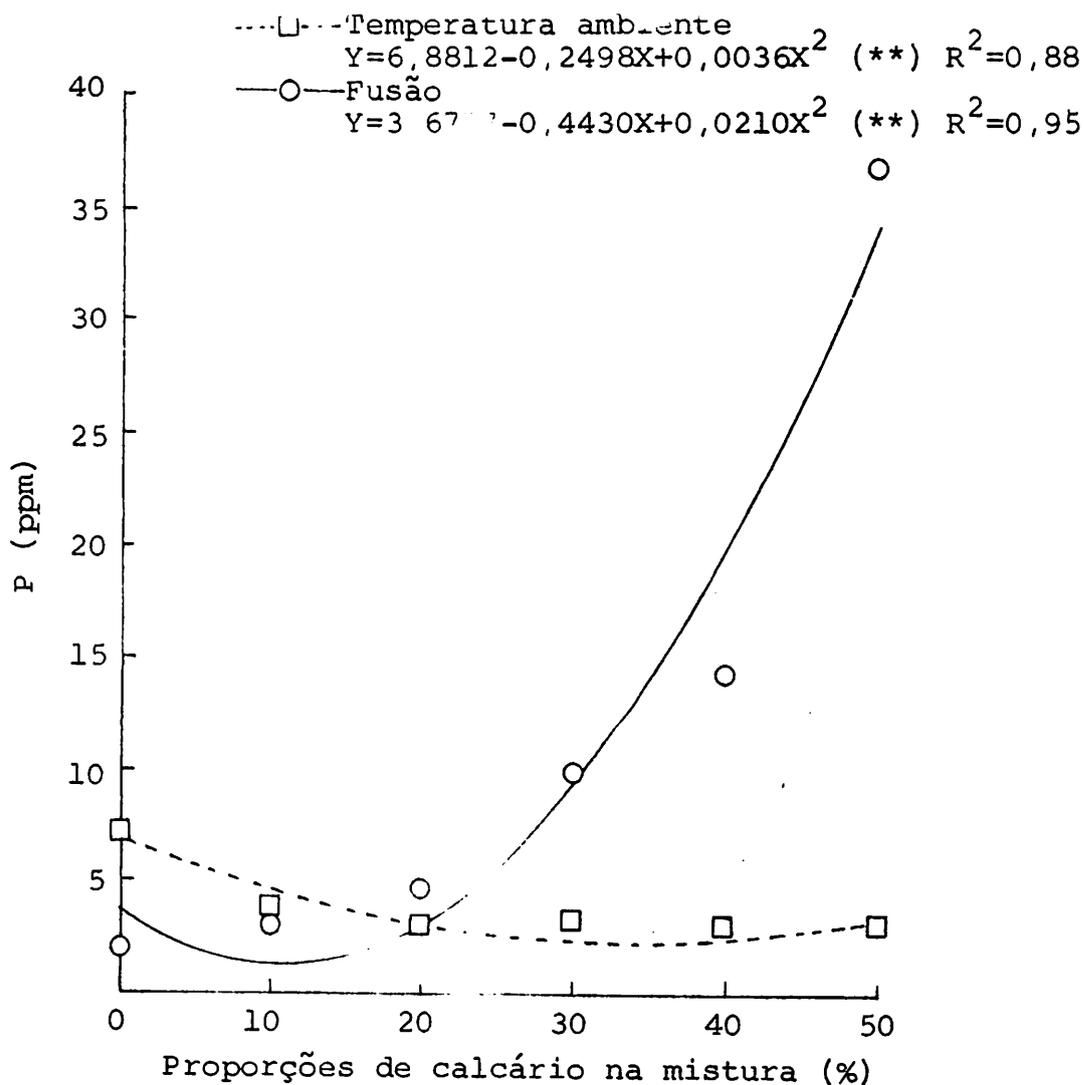


FIGURA 17. Fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o segundo cultivo, em função das proporções de calcário na mistura e tratamentos térmicos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

(**) Equações de regressão significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de "F".

QUADRO 25. Médias de fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	1º cultivo			2º cultivo		
	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Fusão
	----- P ----- ppm -----					
Nível 1	4,11 b B	3,89 b B	10,68 a B	3,32 b B	2,72 b B	8,68 a B
Nível 2	5,66 b A	5,76 b A	17,58 a A	4,62 b A	4,59 b A	15,11 a A
Testemunha	1,73			0,75		
Completo	68,88			50,24		

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

e Figura 3). Por outro lado, como os tratamentos de fusão das misturas adicionadas de altos teores de calcário foram aplicados a níveis de fósforo total inferiores ao tratamento completo (Quadro 6), seria difícil a equiparação desses tratamentos no tocante aos teores de fósforo solúvel no Bray I (Quadro 24); excessão feita para a mistura que recebeu 50% de calcário e aplicada no nível 2 de adubação com fósforo total ligeiramente superior ao completo (Quadro 6).

Os coeficientes de correlação (Quadro 10) mostram um efeito negativo do pH do solo nos valores de fósforo solúvel no Bray I, apenas para as misturas tratadas à temperatura ambiente. Daí, a impossibilidade de aumentar os níveis de fósforo solúvel nesse extrator, aplicando essas misturas adicionadas de calcário ao solo, visto apresentarem reação básica, como mostram os Quadros 12 e 13.

Para as misturas tratadas a 1100°C, observa-se uma correlação positiva do pH do solo (Quadro 10) com os valores de fósforo solúvel no extrator de Bray I, a qual deve estar ligada à aplicação de doses maiores de fósforo mediante o nível 2 de adubação. Há já visto aumentos do pH a maiores teores de calcário na mistura (Quadro 13), mas nenhum aumento paralelo na solubilidade do fósforo com esse extrator (Quadro 24). Já os baixos teores relativos de fósforo solúvel no Bray I obtidos mesmo com o nível 2 de adubação (Quadros 24 e 25), comprovam a inviabilidade dos tratamentos a 1100°C como corretivos dos níveis de fósforo no solo, a exemplo daqueles tratados à temperatura ambiente. Como discutido no item 4.4, à excessão dos tratamentos que receberam fusão, apenas as misturas

adicionadas de 30 e 40% de calcário magnesiano, tratadas a 1100°C, promoveram altos teores relativos de potássio "disponível a longo prazo" ou solúvel em HNO_3 (Figura 14), e potássio disponível (Figura 12). Porém, a baixa "disponibilidade" de fósforo estimada para essas misturas as inviabilizam como corretivos e/ou fontes de fósforo e potássio conjuntamente.

Quanto ao extrator de Mehlich, as correlações positivas encontradas para os teores de fósforo solúvel nesse extrator com a matéria seca e fósforo acumulado pela parte aérea do milho posteriormente (Quadros 9 e 22) justificam utilizá-lo na interpretação da "disponibilidade" de fósforo no solo para as misturas tratadas à temperatura ambiente e à 1100°C. A correlação negativa entre o pH do solo e os teores de fósforo solúvel nesse extrator, observada no grupo de tratamentos que receberam mistura tratada a 1100°C (Quadro 10), aliada às médias do Quadro 26, evidenciam que a "disponibilidade" de fósforo dessa mistura é drasticamente reduzida quando adicionada de maiores teores de calcário magnesiano. Já a "disponibilidade" de fósforo das misturas à temperatura ambiente não sofreu variação com os teores de calcário na mistura (Quadro 18). Salienta-se, ainda, que houve baixa correlação ($r=0,32$) entre os teores de fósforo medidos no Mehlich com a matéria seca e fósforo acumulado pela parte aérea do milho, (Quadros 9 e 22), podendo a disponibilidade de fósforo nessa situação ser melhor avaliada pelo extrator Bray I, o qual apresentou maior correlação ($r=0,58$). Como esclarecem KAMPRATT & WATSON (31) a solução extratora de Mehlich, com pH de 2 a 3, dissolve predominantemente a fração Ca - P, do

QUADRO. 26. Médias de fósforo solúvel no extrator de Mehlich após o primeiro e segundo cultivos, em função dos tratamentos térmicos e proporções de calcário na mistura, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)					
	0	10	20	30	40	50
	Após 1º cultivo					
	----- P ppm -----					
Temperatura ambiente	204,00 a B	189,00 a A	165,00 a A	171,00 a A	179,00 a A	153,00 a A
Calcinação a 1100°C	274,00 a A	205,67 b A	134,50 c A	106,67 cd B	78,50 cd B	47,67 d B
Testemunha Completo	1,00 29,67					
	Após 2º cultivo					
	----- P ppm -----					
Temperatura ambiente	201,00 a B	184,67 a A	167,33 a A	153,00 a A	147,67 a A	175,67 a A
Calcinação a 1100°C	242,33 a A	232,00 a A	135,83 b A	87,33 b B	74,67 b B	79,67 b B
Testemunha Completo	1,33 27,33					

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

fosfato natural no caso, não servindo para avaliar a reatividade desses materiais no solo, como o faz a solução extratora de Bray I, segundo KHASAWNEH & DOLL (32). Nota-se a "eficiência" da solução extratora de Mehlich em dissolver as misturas tratadas à temperatura ambiente e/ou à 1100°C, quando adicionadas ao solo, detectando altas dosagens de fósforo aplicadas com essas misturas, e caracterizando bem os níveis de adubação (Quadro 27).

As considerações anteriores permitem avaliar as misturas adicionadas de 30 e 40% de calcário magnesiano e que receberam tratamento de fusão, como as de maior eficiência agrônômica, pois apresentam as maiores solubilidades de potássio associadas a relativas altas solubilidades de fósforo no solo. Haja visto que as mesmas promoveram os maiores acúmulos de potássio, fósforo e matéria seca em ambos os cultivos, especialmente considerando os níveis em que foram aplicadas (Quadro 1 A e Quadro 6). Mostraram ainda poder corretivo do pH associado aos níveis de cálcio e magnésio mantendo-os em níveis adequados mesmo após o segundo cultivo (Quadro 4 A), tomando como base as recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (15). Quando aplicadas no nível 2 de adubação, também promoveram disponibilidade média a alta de potássio, mesmo após o segundo cultivo, segundo esses mesmos autores. Condicionaram, também, um teor de potássio disponível a longo prazo, de aproximadamente 50 ppm, no nível 2 de adubação, equivalente ao apresentado no solo original (Quadro 7 A e Quadro 5). Tomando a solubilidade de fósforo nas soluções extratoras de Bray I e Olsen, após cada cultivo, como medida da reatividade de fontes fosfatadas

QUADRO 27. Médias de fósforo solúvel no extrator de Mehlich, após o primeiro e segundo cultivos, em função dos níveis de adubação e tratamentos térmicos, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Níveis de adubação	1º cultivo		2º cultivo	
	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C	Temperatura ambiente	Calcinação a 1100°C
	----- P - ppm -----			
Nível 1	116,78 a B	97,11 a B	110,44 a B	90,17 a B
Nível 2	236,89 a A	185,22 b A	232,00 a A	193,78 b A
Testemunha	1,00		1,33	
Completo	29,87		27,33	

Para cada cultivo, as médias seguidas de mesma letra minúscula na mesma linha, e maiúscula na mesma coluna, não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

no solo, segundo SMYTH & SANCHEZ (67) e KHASAWNEH & DOLL (32), essas misturas são de relativa alta reatividade; podendo superar os níveis de solubilidade do tratamento completo avaliados após cada cultivo com esses extratores, desde que mostraram teores de fósforo solúvel paralelos aos níveis de adubação (Quadro 10 A).

5. CONCLUSÕES

- A mistura de verdete de Abaeté com fosfato de Araxá em partes iguais, simplesmente moída ou submetida aos tratamentos térmicos de 1100°C e fusão, não é eficiente como fonte de K a curto prazo para a cultura do milho.

- A solubilidade para K da mistura de verdete de Abaeté com fosfato de Araxá em partes iguais, submetida ao tratamento térmico de 1100°C, depende diretamente dos teores de calcário magnesiano adicionado.

- A adição de calcário magnesiano na mistura de verdete de Abaeté com fosfato de Araxá, exige alterações na estrutura das rochas de modo que os níveis relativamente altos de Ca e reação básica do produto final não venham restringir, como um todo, a solubilidade do K e P no solo.

- Apenas o tratamento térmico de fusão mostrou-se promissor na obtenção de um produto com razoável disponibilidade conjunta de P, K, Ca e Mg para a cultura do milho.

- A mistura verdete de Abaeté como fosfato de Araxá em partes iguais, adicionada de 30 e 40% de calcário magnesiano e submetida ao tratamento térmico de fusão, apresenta poder corretivo do solo e melhores perspectivas de servir como fonte alternativa de P, K, Ca e Mg para culturas anuais.

6. RESUMO

Os solos sob vegetação de "cerrado" no Brasil Central apresentam acidez elevada, baixa capacidade de troca de cátions e alta capacidade de retenção de fósforo, contribuindo por uma modesta eficiência dos fertilizantes potássicos e fosfatados de alta solubilidade, convencionalmente utilizados. As propriedades desses solos têm se apresentado adequadas ao uso de fertilizantes com solubilidade controlada, mas incompatíveis ao desempenho da maioria das culturas anuais.

O Brasil dispõe de imensas reservas de minerais potássicos e fosfatados de baixa solubilidade, situadas em posições estratégicas sob o aspecto geográfico, justificando o desenvolvimento de uma tecnologia de transformação capaz de torná-las fontes alternativas de fertilizantes.

Para essa pesquisa utilizou-se da rocha potássica verdete de Abaeté (VA), da rocha fosfatada fosfato de Araxá (FA), e calcário magnesiano (CM), procurando desenvolver um fertilizante corretivo do solo na forma de "Termofosfato Potássico Cálcico Magnesiano", de fácil padronização quanto à composição, solubilidade e

maior eficiência agronômica em solos sob vegetação de "cerrado".

Avaliou-se as rochas VA, FA e CM, submetidas a tratamentos térmicos, como fontes de P, K, Ca e Mg para a cultura do milho em casa de vegetação, realizando dois cultivos sucessivos sobre material da camada 0-20 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo câmbico distrófico textura média (LVcm). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, esquema fatorial $6 \times 3 \times 2 + 2$ adicionais, com 3 repetições. Os fatores consistiram de proporções de CM (0, 10, 20, 30, 40 e 50%) com uma mistura de partes iguais de VA e FA; tratamentos térmicos (temperatura ambiente, calcinação a 1100°C e fusão); e níveis de adubação (50 e 100 ppm de K), com base no K solúvel em HNO_3 a quente. Um tratamento adicional (completo), recebeu 200 ppm de P e 100 ppm de K nas formas solúveis. O outro tratamento adicional (testemunha) consistiu de P e K ausentes, mas recebeu os demais nutrientes como todos os tratamentos.

Foram avaliados os teores de P e K solúveis nos materiais tratados, as reações dos mesmos no solo, as disponibilidades de P, K, Ca e Mg no solo, bem como a acumulação desses nutrientes e de matéria seca pela parte aérea do milho. Os dados foram submetidos à análise de variância e testes de médias, bem como a análise de regressão polinomial e correlação linear das variáveis medidas.

Houve efeito positivo do CM, paralelamente aos níveis adicionados, na solubilidade do K para a mistura tratada a 1100°C . Já no tratamento de fusão, os níveis de CM apresentaram efeito quadrático na disponibilidade de P e K, permitindo obter um máximo de so

lubilidade conjunta desses nutrientes com 30 e 40% de CM em mistura com as rochas.

O tratamento térmico de fusão promoveu maiores alterações na estrutura das rochas, permitindo obter produtos mais reativos a valores relativamente altos de pH e Ca no solo, tornando-se promissor na obtenção de um produto com razoável disponibilidade conjunta de P, K, Ca e Mg para a cultura do milho.

A mistura VA e FA em partes iguais, adicionada de 30 e 40% de CM e submetida ao tratamento térmico de fusão apresenta poder corretivo do solo e melhores perspectivas de servir como fonte alternativa de P, K, Ca e Mg para culturas anuais em solos sob cerrado.

7. SUMMARY

EFFECT OF THERMIC TREATMENTS ON MIXTURES OF VERDETE DE ABAETÉ , ARAXÁ ROCK PHOSPHATE AND MAGNESIUM LIMESTONE, ON AVAILABILITY POTASSIUM AND PHOSPHORUS

Soils under "cerrado" vegetation in Central Brazil are ex tremely acid with a low cation exchange capacity and high phosphate adsorption. These facts contribute to a low efficiency of con ventional, highly soluble potassium and phosphate fertilizers. The properties of these soils suggest that slow release fertilizers would be more efficient than conventional fertilizers for most an nual crops.

Brasil has great deposits of potash and phosphate minerals of low solubility. These deposits are strategically localized con sidering the geographical aspect, a fact that justifies development of transforming technologies capable of changing these minerals into alternative fertilizers for brazilian agriculture.

In this study a potassium rock, (verdete de Abaeté-VA) , a natural rock phosphate (fosfato de Araxá-FA), and a magnesium limestone (CM), were utilized with the aim of producing a "lime-

-fertilizer" or a Potassic Calcic Magnesian Thermophosphate. This product is expected to be adequate in terms of composition, solubility and agronomic efficiency for soils under "cerrado" (Savanna) vegetation.

The rocks VA, FA and CM, thermically treated were evaluated, as a source of P, K, Ca and Mg for corn crops under greenhouse conditions. Two successive crops were obtained on soil material (0-20 cm) of a Dystrophic cambic medium texture Red-Yellow Latosol (LVcm). The experimental design was in randomized blocks, in a factorial scheme $6 \times 3 \times 2 + 2$ additional treatments, and 3 replications. The factors were: proportions of CM (0, 10, 20, 30, 40 and 50%) in mixture with 50% VA and 50% FA; thermic treatments (natural temperature, calcination to 1100°C and fusion); rates of K (50 and 100 ppm K) based upon soluble K in hot 1N HNO_3 . An additional treatment (complete), received 200 ppm of P and 100 ppm K in water-soluble forms. The other additional treatment (check) did not receive P and K, but received all other nutrients.

The following parameters were evaluated: levels of soluble P and K in the mixtures, the reactions of these mixtures in the soil, availability of P, K, Ca and Mg, as well as accumulation of these nutrients in dry matter of the aerial parts of corn. The data were submitted to variance analysis and test for means, polynomial regression and linear correlation for the variables involved.

A positive effect of CM, parallel to the rates used, in terms of K solubility for the mixtures treated to 1100°C . Under the

fusion treatment, rates of CM presented a quadratic effect on P and K availability, with maximum solubility for both nutrients between 30 and 40% CM in the mixture with equal parts of VA e FA.

The fusion treatment promoted greater structural alterations of the rocks, allowing formation of more reactive products at relatively high pH and high levels of Ca in the soil material. This final material is promising as a relatively slow release source of P, K, Ca and Mg for corn crop.

The mixture of 50% VA and 50% FA, plus 30 to 40% CM, treated to fusion temperature, presented a corrective effect of pH, and better perspectives to serve as a alternate source of P, K, Ca and Mg for annual crops in soils under "cerrado" (savanna) vegetation.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALCARDE, J.C. & PONCHIO, C.O. A ação solubilizante das soluções de citrato de amônio e de ácido cítrico sobre fertilizantes fosfatados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3(3):173-8, set./dez. 1979.
2. ALLISON, L.E. Organic carbon. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1367-78.
3. AMARAZIRI, S.L. & OLSEN, S.R. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. Soil Science Society of America Proceeding, Madison, 37(5):716-21, Sept/Oct. 1973.
4. ARANTES, E.M. Efeitos da relação Ca/Mg e níveis de potássio na produção de matéria seca, concentrações de K, Ca, Mg e equilíbrio catiônico do milho (*Zea mays* L.). Lavras, ESAL, 1983. 62p. (Dissertação de Mestrado).

5. BARBER, S.A.; MUNSON, R.D. & DANCY, W.B. Production, marketing and use of potassium fertilizers. In: OLSON, R.A. et alii. Fertilizer technology & use. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1971. p.303-34.
6. BIXBY, D.W. Sulfur requirements of the phosphate industry. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. Cap.5, p.139-50.
7. BRADLEY, W.E. & GRIM, R.E. Mica clay minerals. In: _____. The X-ray identification and crystal structures of clay minerals. London, Mineralogical Society Jarrold and Sons, 1963. Cap. 5, p.2091-41.
8. BRADY, N.C. Natureza e propriedades dos solos. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1979. 647p.
9. BRAGA, J.M. Contribuição ao estudo do fosfato de Araxá como fontes de fósforo em um solo de Viçosa, MG. Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1967. 65p. (Tese de Mestrado).
10. BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes; métodos oficiais. Brasília, 1983. 104p.

11. CHIEN, S.H. Reactions of phosphate rocks, Rhenania phosphate, and superphosphate with an acid soil. Soil Science Society of America Journal, Madison, 42(5):705-8, Sept./oct. 1978.
12. _____. Thermodynamic considerations on the solubility of phosphate rock. Soil Science, Baltimore, 123(2):117-21, Feb. 1977.
13. _____ & HAMMOND, L.L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. Soil Science Society of America Journal, Madison, 42(6):935-9, Nov./Dec. 1978.
14. _____; LEON, L.A. & TEJADA, H.R. Dissolution of North Carolina phosphate rock in acid colombian soils as related to soil properties. Soil Science Society of America Journal, Madison, 44(6):1267-71, Nov./Dec. 1980.
15. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 3ª aproximação. Belo Horizonte, EPAMIG, 1976 . 80p.
16. DIXON, J.B. & WEEB, S.B. Minerals in soil environments. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 1979. 948p.

17. DUTRA, L.G. Minerais potássicos, acidificados ou não, utilizados como fontes de nutrientes para o milho (Zea mays L.) em casa de vegetação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 83p. (Tese de Doutorado).
18. EICHLER, V. Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (Zea mays L.) em solos de textura média e argilosa. Lavras, ESAL, 1983. 122p. (Dissertação de Mestrado).
19. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Relatório técnico anual; 1978-79. Planaltina, 1980. 170p.
20. FAQUIN, V. Efeito do tratamento térmico do sienito nefelínico adicionado de calcário dolomítico, na disponibilidade de potássio ao milho (Zea mays L.) em casa de vegetação. Piracicaba, ESALQ, 1982. 115p. (Dissertação de Mestrado).
21. FASSBENDER, H.W. Potasio. In: _____. Química de suelos; con énfasis en suelo de América Latina. San José, IICA, 1980. Cap.12, p.319-43.
22. FEIGENBAUM, S. & SHAINBERG, I. Dissolution of illite; a possible mechanism of potassium release. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 39(5):985-90, Sept./Oct. 1975.

23. FERREIRA, T.N. & KAMINSKI, J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, 3(3):158-62, set./dez. 1979.
24. FRAYA, R. Rochas potássicas - possibilidades de aproveitamento para a indústria de adubos. Mineração e metalurgia, Rio de Janeiro, 15(87):85-7, set./out. 1950.
25. FREEMAN, H.P.; CARO, J.H. & HEINLY, N. Effect of calcination on the charater of phosphate rock. Journal of Agricultural and Food Chemistry, Washington, 12(6):479-86, Nov./Dec. 1964.
26. GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 15(3):311-8, jul. 1980.
27. GRIM, R.E. Clay mineralogy. Urbana, R.B. Shrock, 1953. 375p.
28. GUARDANI, R. Alguns aspectos da evolução das pesquisas em produção de termofosfatos. São Paulo, IPT, 1979. 28p. (Publicação IPT, 1136; Série: Pesquisa e Desenvolvimento, 4).
29. HOROWITZ, A.; PINTO, F.G.; DUARTE, P.J. & CARNEIRO, M.O.M. Produção de adubos de solubilidade controlada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(2):144-7, abr./ago. 1978.

30. KAMINSKI, J. Efeito de cinco fosfatos pré, co e pós-aplicados ao calcário, no suprimento de fósforo ao sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench. cv. Contibrasil) em três solos ácidos. Piracicaba, ESALQ, 1983. 126p. (Tese de Doutorado).
31. KAMPRATH, E.J. & WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. Cap.16, p.433-70.
32. KHASAWNEH, F.E. & E.C. DOLL. The use of phosphate rocks for direct applications to soils. Advances in Agronomy, New York, 30:159-206, 1978.
33. KLAMT, E.; MIELNICZUK, J. & POMPO, L.C.A. Estudo da cinética de liberação de potássio das rochas e minerais. Porto Alegre, UFRGS, 1978. 27p. (Anexo ao relatório final do contrato FUNDATEC/FINEP).
34. LEHR, J.R. Phosphat raw materials and fertilizers: part I- A look ahead. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.E. & KAMPRATH, E.S. eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. Cap. 4, p.81-120.
35. LIMA, M.C.A.; LEITE, J.P. & LYRA, M.A. Emprego de rochas trituradas como fertilizante potássico na lavoura canavieira. Recife, IPA, 1969. 35p. (Boletim técnico, 40).

36. LIMA, P.C. Manual de usuário. Lavras, ESAL, Deptº de Ciências Exatas, Centro de Processamento de Dados, 1983. 16p.
37. _____ & SILVEIRA, J.V. Manual de usuário. 3.ed. Lavras, ESAL, Deptº de Ciências Exatas, Centro de Processamento de Dados, 1983. 15p.
38. LOPES, A.S. A survey of the fertility status of soils under "cerrado" vegetation in Brazil. Raleigh, North Carolina State University, Department of Soil Science, 1975. 138p. (Tese de Mestrado).
39. _____. Available water phosphorus fixation and zinc levels in brazilian cerrado soil in relation to their physical, chemical and mineralogical properties. Raleigh, North Carolina State University, Department of Soil Science, 1977. 189p. (Tese Ph.D).
40. _____. Calagem. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 7(81): 24-46, set. 1981.
41. _____. Solos sob "cerrado"; características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1983. 162p.
42. _____; FREIRE, J.C.; AQUINO, L.H. de & FELIPE, M.P. Contribuição ao estudo da rocha potássica verde de Abaeté (Glauconita) para fins agrícolas. Agros, Lavras, 2(2):32-42, jul./dez. 1972.

43. McCLELLAN, G.H. & GREMILLION, L.R. Evaluation of phosphatic raw materials. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRA-TH, E.J., eds. The role of phosphorus in agricultura. Madison, American Society of Agronomy, 1980. Cap.3, p.43-80.
44. McKEAGUE, J.A. & CLINE, M.G. Silica in soils. Advance in Agronomy, New York, 15:339-89, 1963.
45. MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
46. _____ & USHERWOOD, N.R. Adubos e adubação potássica. Piracicaba, Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. 56p. (Boletim técnico, 3).
47. MATTOS, P.L.P. Tratamento térmico dos fosfatos de Araxá e de Patos - Solubilização em ácido cítrico, absorção de fósforo e produção de matéria seca pelo sorgo granífero (Sorghum bicolor (L.) Moench). Viçosa, UFV, Imprensa Universitária, 1976. 31p. (Tese de Mestrado).
48. MIELNICZUK, J. & KLAMT, E. Avaliação da eficiência agronômica dos minerais potássicos. Porto Alegre, UFRGS, 1978. 17p. (Anexo ao relatório final do contrato FUNDATEC/FINEP).
49. MOKWUNNYE, U. The influence of pH on the adsorption of phosphate by soils from the Guinea and Sudan Savannah Zones of Nigeria. Soil Science Society of America Proceeding, Madison, 39(6):1100-102, Nov./Dec. 1975.

50. MURRMAN, R.P. & PEECH, M. Effect of pH on labile and soluble phosphate in soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 33(1):205-10, Jan./Feb. 1969.
51. NEPTUNE, A.M.L.; MURAOKA, T.; FUJIMORI, K.; & VIDAL, A.A. Disponibilidade do potássio a partir de vários materiais potássicos, utilizando o arroz como planta indicadora. Anais da ESALQ, Piracicaba, 37(2):979-89, 1980.
52. OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A.E. & BEATTY, M.T. Potassium removed from some southern Brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extraction methods. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 35(5): 763-7, 1971.
53. PIMENTEL GOMES, F. Curso de estatística experimental. 4.ed. São Paulo, Nobel, 1976. 430p.
54. PRATT, P.F. Potassium. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; chemical and microbiological properties. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.2, p.1022-30.
55. RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2(1):1-9, jan./abr. 1978.
56. _____ & DIEST, A. van. Phosphate supplying power of power of rock phosphate in on oxisol. Plant and Soil, Hague, 55(1):97-104, Apr. 1980.

57. RAIJ, B. van; ROSAND, P.C. & LOBATO, E. Adubação fosfatada no Brasil - apreciação geral, conclusões e recomendações. In: OLIVEIRA, A.J. de et alii, eds. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília, EMBRAPA-DID, 1982. p.9-28. (Documentos, 21).
58. RICH, C.I. Mineralogy of soil potassium. In: KILMER, V.J. et alii. The role of potassium in agriculture. Madison, American Society of Agronomy 1968. p.79-108.
59. RITCHEY, K.D. O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos úmidos. Piracicaba Instituto da Potassa & Fosfato, 1982. 69p. (Boletim técnico 7).
60. SAFFIOTI, W. Fundamentos de química. São Paulo, Ed. Nacional, 1968. v.1, 689p.
61. SANCHEZ, P.A. Mineralogia de la argila y procesos de intercambio iónico. In: _____. Suelos del trópico; características y manejo. San José, IICA, 1981. Cap. 4, p.140-63.
62. _____ & UEHARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E. et alii. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.471-514.
63. SANTOS, E. de A. Efeito da acidificação do vertete de Abaeté na disponibilidade do potássio para o milho (*Zea mays* L.) em casa de vegetação. Lavras, ESAL, 1984. 113p. (Dissertação de Mestrado).

64. SÃO PAULO. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Instituto de Economia Agrícola. Prognóstico 82/83. São Paulo, 1982. v.11, 255p.
65. SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.
66. SCHROEDER, D. Structure and weathering of potassium containing minerals. In: POTASSIUM RESEARCH REVIEW AND TRENDS, 11, Bern, 1979. Proceedings... Bern International Potash Institute, 1979. p.43-63.
67. SMYTH, T.J. & SANCHEZ, P.A. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorptions and ion retention. Soil Science Society of America Journal, Madison, 44(3):500-5, May/June 1980.
68. STEEL, R.G.D. & TORRIE, J.H. Principles and procedures of statistics. New York, McGraw-Hill, 1960. 481p.
69. URQUIAGA, S.; REICHARDT, K. & LIBARDI, P.L. Efeito do fosfato de Araxá e superfosfato simples em algumas propriedades físico-químicas e de fósforo residual disponível em um solo oxic paleudalf. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(2):195-202, fev. 1982.

70. VALARELLI, J.V. & GUARDANI, R. Estudos experimentais para utilização das rochas potássicas de Poços de Caldas como fertilizantes. Fertilizantes, São Paulo, 3(3):1-16, dez. 1981.
71. VETTORI, M. Métodos de análise do solo. Rio de Janeiro, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, 1969. 24p. (Boletim técnico, 7).
72. YOST, R.S.; KAMPRATH, E.S.; NADERMAN, G.C. & LOBATO, E. Residual effects of phosphorus applications on a high phosphorus adsorbing oxisol of Central Brasil. Soil Science Society of America Journal, New York, 45(3):540-43, May/June 1981.

APÉNDICE

QUADRO 1 A. Potássio, fósforo e matéria seca (MS) acumulados na parte aérea do milho, no primeiro e segundo cultivos, em função dos tratamentos térmicos, proporções de calcário na mistura e níveis de adubação, testemunha e completo. ESAL, Lavras-MG, 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)	Níveis de adubação	1º cultivo			2º cultivo		
			K (mg/vaso)	P (mg/vaso)	M.S. (g/vaso)	K (mg/vaso)	P (mg/vaso)	M.S. (g/vaso)
Temperatura ambiente	0	N 1	45,14	2,78	2,56	35,51	5,68	5,70
		N 2	65,98	3,42	2,69	40,51	8,43	8,38
	10	N 1	29,15	2,38	2,15	49,49	3,36	3,59
		N 2	24,58	1,89	1,74	58,50	2,99	3,36
	20	N 1	20,92	2,03	1,98	44,80	2,45	2,65
		N 2	27,93	2,19	1,99	45,83	2,34	2,46
	30	N 1	28,08	2,43	2,03	37,77	2,41	2,88
		N 2	26,35	2,00	1,89	40,31	2,17	2,81
	40	N 1	19,88	1,93	1,74	40,87	2,05	3,51
		N 2	23,93	2,05	1,98	49,69	2,24	2,39
	50	N 1	25,83	2,10	1,90	33,32	2,20	2,42
		N 2	27,08	2,14	2,07	42,39	2,29	2,62
Incinação 1100°C	0	N 1	31,95	2,05	2,13	31,63	3,08	3,51
		N 2	39,24	2,46	2,50	34,57	3,11	3,66
	10	N 1	22,18	2,06	1,79	37,94	2,48	2,98
		N 2	17,64	1,81	1,97	39,08	3,17	3,72
	20	N 1	17,97	2,14	2,09	38,57	2,20	2,61
		N 2	13,80	2,14	1,95	39,39	2,47	3,07
	30	N 1	16,40	2,35	1,90	41,82	2,44	3,04
		N 2	14,76	2,63	1,92	33,81	2,01	2,53
	40	N 1	21,21	2,69	2,09	31,39	2,39	2,77
		N 2	12,71	2,32	1,88	33,51	2,07	2,55
	50	N 1	18,18	1,78	2,10	47,81	2,42	2,75
		N 2	13,18	1,97	1,76	40,75	1,90	2,17
Testemunha	0	N 1	30,11	2,17	2,13	33,85	2,35	2,92
		N 2	32,67	2,10	1,94	23,86	1,92	2,43
	10	N 1	30,82	2,35	2,18	31,92	2,47	2,98
		N 2	31,42	2,34	2,11	42,01	2,76	3,16
	20	N 1	29,00	2,13	2,02	54,90	2,53	3,08
		N 2	43,83	3,13	2,85	54,25	3,04	3,70
	30	N 1	47,90	2,88	2,86	60,87	3,28	3,98
		N 2	92,36	4,78	4,67	34,64	4,52	5,88
	40	N 1	71,73	3,48	3,63	41,74	4,08	5,04
		N 2	52,58	2,31	2,20	91,64	5,83	6,91
	50	N 1	25,71	2,18	2,12	56,29	3,53	4,28
		N 2	39,44	3,12	2,61	60,48	3,28	3,95
Testemunha			33,41	2,09	2,01	23,54	2,17	2,57
Completo			246,36	41,24	24,92	11,28	18,77	8,63

QUADRO 2 A. Resumo das análises de variância da produção de matéria seca pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos mesmos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo		Soma dos cultivos	
		Q.M.	N.S.(%)	Q.M.	N.S.(%)	Q.M.	N.S.(%)
Níveis (A)	1	0,1422	63,7112	3,0569	0,4742	4,5182	2,4008
Proporções (B)	5	0,6948	37,0027	5,3902	0,0000	7,9634	0,0001
Interação A x B	5	0,5291	52,9367	0,5255	21,3953	0,9887	33,5932
Tratamentos térmicos (C)	2	4,0227	0,2865	10,4820	0,0000	26,2827	0,0000
Interação A x C	2	0,1912	74,0496	0,8711	9,6221	1,7502	13,5078
Interação B x C	10	1,2010	5,9365	12,0640	0,0000	19,0169	0,0000
Interação A x B x C	10	0,7175	35,0903	1,7507	0,0023	2,8366	0,1272
Fatorial vs adicional	1	717,8455	0,0000	25,4733	0,0000	1013,7709	0,0000
Tratamentos adicionais	1	787,0731	0,0000	55,1460	0,0000	1258,8919	0,0000
Blocos	2	0,3591	57,0047	0,0744	81,3800	0,4269	60,7468
Resíduo	74	0,6340		0,3604		0,8508	
C.V. (%)		28,27		16,70		14,38	

QUADRO 3 A. Produção de matéria seca (MS) pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos cultivos para os tratamentos adicionais, incluindo 2 tratamentos que não participaram na análise de variância (média de 3 repetições). ESAL, Lavras - MG. 1984.

Tratamentos	Cultivos		
	1º cultivo	2º cultivo	Soma dos cultivos
	-----MS g/vaso-----		
Ausência de K e P (testemunha)	2,01	2,57	4,58
Ausência apenas de K	15,08	5,32	20,40
Ausência apenas de P	2,08	2,49	4,57
Presença de K e P (completo)	24,92	8,63	33,55

DRO 4 A. Cálcio e Magnésio trocáveis e pH em KCl após o primeiro e se-
gundo cultivos, em função dos tratamentos térmicos, propor-
ções de calcário na mistura e níveis de adubação, testemunha
e completo. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)	Níveis de adubação	1º cultivo			2º cultivo		
			Ca	Mg	pH KCl	Ca	Mg	pH KCl
			-----meq/100 g-----			----- meq/100 g-----		
Temperatura ambiente	0	N 1	3,0	0,7	5,3	3,0	0,5	4,9
		N 2	3,0	0,6	5,3	2,7	0,3	5,0
	10	N 1	3,4	0,9	5,9	3,3	0,8	5,5
		N 2	3,7	1,0	6,3	4,3	0,7	6,5
	20	N 1	3,8	0,9	6,4	4,1	0,9	6,4
		N 2	4,5	0,8	6,8	4,5	0,8	6,8
	30	N 1	4,2	0,8	6,7	4,1	0,8	6,7
		N 2	4,9	0,7	7,1	5,2	0,6	7,0
	40	N 1	4,8	0,7	7,0	4,7	0,6	6,8
		N 2	5,1	0,6	7,3	5,0	0,6	7,3
	50	N 1	5,5	0,7	7,0	5,1	0,5	6,9
		N 2	5,5	0,6	7,3	5,4	0,5	7,2
Adubação 200g	0	N 1	2,8	0,7	5,3	2,5	0,6	4,8
		N 2	3,1	0,8	5,7	2,8	0,7	5,2
	10	N 1	3,4	1,0	5,9	3,5	0,9	5,4
		N 2	3,0	0,9	6,0	3,1	0,8	6,0
	20	N 1	3,4	1,0	6,4	3,6	1,0	6,0
		N 2	3,9	1,2	6,9	3,9	1,0	6,6
	30	N 1	3,7	1,1	6,4	3,5	0,9	6,3
		N 2	4,4	1,1	7,2	4,3	1,0	7,1
	40	N 1	3,9	1,1	6,8	3,9	1,0	6,6
		N 2	4,8	1,2	7,7	5,6	1,3	7,6
	50	N 1	4,0	1,1	6,8	4,2	1,0	6,5
		N 2	4,9	1,1	7,7	4,6	1,0	6,9
Testemunha e completo	0	N 1	2,6	0,7	5,2	2,2	0,5	4,7
		N 2	2,8	0,8	5,3	2,4	0,6	4,7
	10	N 1	2,7	0,7	5,1	2,2	0,5	4,6
		N 2	2,7	0,7	5,3	2,4	0,5	4,6
	20	N 1	2,8	0,8	5,3	2,5	0,6	4,8
		N 2	2,8	0,7	5,5	2,6	0,6	5,1
	30	N 1	3,0	0,8	5,6	2,8	0,6	5,3
		N 2	3,3	0,8	5,9	3,2	0,6	5,8
	40	N 1	3,5	0,8	6,0	3,2	0,6	6,1
		N 2	3,8	0,9	6,5	3,6	0,7	6,4
	50	N 1	4,6	0,9	7,3	4,6	0,8	7,2
		N 2	5,2	1,0	7,3	4,8	0,8	7,7
			2,5	0,6	5,1	2,4	0,6	4,6
			2,2	0,4	5,2	1,8	0,2	4,7

QUADRO 5 A. Resumo das análises de variância dos dados de potássio acumulado pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo		Soma dos cultivos	
		Q.M.	N.S. (%)	Q.M.	N.S. (%)	Q.M.	N.S. (%)
Níveis (A)	1	377,5905	16,0060	249,6449	8,5025	1241,2823	2,0185
Proporções (B)	5	860,7604	0,1058	531,1807	0,0047	427,7164	9,7452
Interação A x B	5	291,6063	18,3350	465,9586	0,0171	56,7946	93,4512
Tratamentos térmicos (C)	2	5225,0488	0,0000	1158,9249	0,0006	11289,9785	0,0000
Interação A x C	2	342,1182	16,8443	133,8088	20,2243	829,6765	2,7660
Interação B x C	10	1136,7924	0,0001	500,2772	0,0001	2471,1821	0,0000
Interação A x B x C	10	269,3042	18,1491	285,3620	0,0851	191,7240	56,4067
Fatorial vs adicional	1	66851,7968	0,0000	3785,0778	0,0000	38822,3789	0,0000
Tratamentos adicionais	1	68021,5703	0,0000	225,3390	10,1454	60416,7187	0,0000
Blocos	2	350,0319	16,1806	475,1515	0,4572	9,8812	95,6150
Resíduo	74	187,4902		81,9251		220,2199	
C.V. (%)		36,87		21,63		18,79	

QUADRO 6 A. Resumo das análises de variância dos dados de fósforo acumulado pela parte aérea do milho em cada cultivo e soma dos mesmos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo		Soma dos cultivos	
		Q.M.	N.S.(%)	Q.M.	N.S.(%)	Q.M.	N.S.(%)
Níveis (A)	1	0,7056	56,9473	2,1987	3,9945	7,5896	13,3167
Proporções (B)	5	1,1595	74,8015	6,0180	0,0000	9,1437	2,3559
Interação A x B	5	0,7936	86,9502	0,5302	38,9753	1,4114	82,7191
Tratamentos térmicos (C)	2	3,1391	24,0622	7,3797	0,0004	13,9781	1,7955
Interação A x C	2	0,4993	79,4296	0,7850	21,6670	1,2530	68,4738
Interação B x C	10	1,1886	84,9703	11,5795	0,0000	18,8922	0,0003
Interação A x B x C	10	0,6679	97,6631	1,4718	0,3816	2,6165	63,3773
Fatorial vs adicional	1	2107,0639	0,0000	317,4435	0,0000	4047,5249	0,0000
Tratamentos adicionais	1	2299,0839	0,0000	413,1740	0,0000	4661,5361	0,0000
Blocos	2	6,2799	6,0996	3,8187	0,1000	7,1122	12,2470
Resíduo	74	2,1614		0,5028		3,2917	
C.V. (%)		42,97		20,91		26,47	

QUADRO 7 A. Potássio extraído do material de solo com HNO_3 1N a quente e extrator de Mehlich, após o primeiro e segundo cultivos para os diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG, 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)	Níveis de adubação	1º cultivo		2º cultivo	
			1,0 N HNO_3	Mehlich	1,0 N HNO_3	Mehlich
----- ppm -----						
Temperatura ambiente	0	N 1	60,5	21,7	41,6	7,7
		N 2	70,8	23,3	53,0	10,0
	10	N 1	68,8	25,3	44,0	9,7
		N 2	87,4	34,0	60,7	14,3
	20	N 1	72,3	29,0	49,8	11,7
		N 2	83,8	33,3	62,4	16,7
	30	N 1	69,4	35,3	50,1	12,0
		N 2	80,2	35,3	64,4	16,7
	40	N 1	73,1	29,3	53,0	14,0
		N 2	86,1	36,0	74,4	26,7
50	N 1	70,9	29,7	52,5	15,3	
	N 2	81,5	31,0	68,1	16,7	
Calcinação a 1100°C	0	N 1	62,7	25,0	43,5	9,3
		N 2	77,3	25,0	69,7	14,3
	10	N 1	63,6	29,3	47,5	14,3
		N 2	83,2	29,7	62,6	19,0
	20	N 1	67,5	32,7	57,4	19,7
		N 2	114,9	45,7	86,6	29,7
	30	N 1	84,5	47,3	67,8	27,3
		N 2	137,8	58,3	100,5	43,3
	40	N 1	82,2	47,0	70,9	20,0
		N 2	135,2	68,0	122,9	54,7
50	N 1	76,4	42,7	60,5	25,7	
	N 2	113,0	65,0	85,7	39,0	
Fusão	0	N 1	65,7	27,3	52,7	11,7
		N 2	91,2	37,3	69,8	19,3
	10	N 1	88,9	57,7	68,0	44,0
		N 2	148,9	97,7	121,5	72,7
	20	N 1	82,4	63,0	56,7	37,7
		N 2	118,7	88,3	89,1	62,0
	30	N 1	69,0	47,7	40,0	16,7
		N 2	89,7	60,7	61,1	45,0
	40	N 1	51,5	30,3	29,5	9,0
		N 2	102,1	77,3	49,0	28,7
50	N 1	76,8	48,0	46,0	18,7	
	N 2	93,3	62,7	68,2	38,3	
Testemunha			39,6	16,7	28,3	7,0
Completo			39,7	14,7	27,6	6,0

QUADRO 8 A. Resumo das análises de variância do potássio solúvel no extrator de Mehlich, após o primeiro e segundo cultivos de milho. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo	
		Q.M.	N.S.(%)	Q.M.	N.S.(%)
Níveis (A)	1	4,8133	0,0000	4,9072	0,0000
Proporções (B)	5	1,2982	0,0000	0,7486	0,0000
Interação A x B	5	0,2351	0,0000	0,1470	0,0663
Tratamentos térmicos (C)	2	7,0188	0,0000	3,4429	0,0000
Interação A x C	2	1,0423	0,0000	0,5976	0,0000
Interação B x C	10	0,8117	0,0000	0,8698	0,0000
Interação A x B x C	10	0,1387	0,0000	0,0763	1,1179
Fatorial vs adicional	1	4,5007	0,0001	1,8951	0,0000
Tratamentos adicionais	1	0,0060	60,1306	0,0015	82,4242
Blocos	2	0,1238	0,5050	0,0333	33,6896
Resíduo	74	0,0217		0,0301	
C.V. (%)		11,03		23,09	

QUADRO 9 A. Resumo das análises de variância do potássio solúvel em HNO_3 a quente, após o primeiro e segundo cultivos de milho. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo	
		Q.M.	N.S. (%)	Q.M.	N.S. (%)
Níveis (A)	1	21592,0644	0,0000	16013,7812	0,0000
Proporções (B)	5	924,0404	0,0173	389,2009	0,5139
Interação A x B	5	291,9343	12,4314	100,1213	45,9027
Tratamentos térmicos (C)	2	2836,3681	0,0001	2582,6887	0,0000
Interação A x C	2	1701,1417	0,0100	561,5293	0,7162
Interação B x C	10	1335,1071	0,0000	1796,8961	0,0000
Interação A x B x C	10	302,5338	6,4727	212,8782	4,4883
Fatorial vs adicional	1	11988,3798	0,0000	7358,2500	0,0000
Tratamentos adicionais	1	0,0068	99,4719	0,8669	92,9532
Blocos	2	1077,5749	0,2254	437,5364	2,0168
Resíduo	74	162,6344		106,2754	
C.V. (%)		15,33		16,61	

QUADRO 10 A. Fósforo extraído do material do solo com os extratores de Bray I, Mehlich e Olsen, após o primeiro e segundo cultivos para os diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)	Níveis de adubação	1º cultivo			2º cultivo			
			Bray I	Mehlich	Olsen	Bray I	Mehlich	Olsen	
----- P - ppm -----									
Temperatura ambiente	0	N 1	5,4	120,0	5,4	6,0	125,3	8,2	
		N 2	8,2	288,0	7,4	8,8	276,7	9,7	
	10	N 1	5,2	118,0	4,3	3,5	122,0	5,4	
		N 2	5,3	260,0	4,8	4,4	247,3	5,7	
	20	N 1	3,2	110,0	2,9	2,3	104,7	3,7	
		N 2	4,9	220,0	4,0	3,6	230,0	4,8	
	30	N 1	3,5	126,0	3,4	2,9	91,3	3,7	
		N 2	5,6	216,0	4,8	3,8	214,7	5,1	
	40	N 1	3,6	112,7	3,3	2,5	113,3	3,7	
		N 2	4,8	245,3	4,3	3,6	178,0	4,6	
	50	N 1	3,8	114,0	3,7	2,7	106,0	4,3	
		N 2	5,0	192,0	4,8	3,6	245,3	4,8	
	Calcinação a 1100°C	0	N 1	3,2	186,0	4,0	3,1	162,0	4,8
			N 2	4,6	362,0	4,6	4,3	322,7	5,4
10		N 1	4,3	165,3	4,8	3,0	157,3	4,8	
		N 2	6,5	246,0	5,4	5,0	306,7	5,4	
20		N 1	4,1	71,0	4,5	2,8	75,0	4,3	
		N 2	6,8	198,0	5,9	5,3	196,7	5,7	
30		N 1	4,2	74,0	4,5	2,8	65,3	4,3	
		N 2	7,2	139,3	6,2	5,6	109,3	6,0	
40		N 1	3,7	54,3	4,8	2,4	50,0	3,7	
		N 2	5,2	102,7	4,8	4,0	99,3	5,7	
50		N 1	3,7	32,0	3,4	2,2	31,3	3,7	
		N 2	4,2	63,3	5,3	3,3	128,0	4,6	
Fusão		0	N 1	2,5	19,3	4,2	1,7	18,0	3,4
			N 2	3,5	46,0	4,8	2,5	46,3	4,8
	10	N 1	3,1	8,3	3,7	2,5	10,0	3,7	
		N 2	4,3	21,3	3,7	3,6	19,3	4,0	
	20	N 1	4,8	13,7	5,1	3,8	14,0	5,1	
		N 2	7,4	22,0	7,3	6,2	17,0	6,8	
	30	N 1	9,3	13,3	7,9	6,8	8,0	7,9	
		N 2	17,0	25,3	13,9	13,3	28,0	12,7	
	40	N 1	12,8	12,0	12,1	9,3	12,7	10,9	
		N 2	22,1	25,7	18,1	19,3	23,3	15,9	
	50	N 1	31,6	30,7	46,1	28,1	25,7	33,7	
		N 2	51,1	64,7	108,8	45,8	68,7	104,9	
	Testemunha			1,7	1,0	3,2	0,7	1,3	1,8
	Completo			68,9	29,7	68,1	50,2	27,3	54,6

QUADRO 11 A. Resumo das análises de variância do fósforo solúvel no extrator de Mehlich , após o primeiro e segundo cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo	
		Q.M.	N.S. (%)	Q.M.	N.S. (%)
Níveis (A)	1	153454,0781	0,0000	178933,4844	0,0000
Proporções (B)	5	1986,0546	0,0000	18211,9023	0,0000
Interação A x B	5	3265,2834	4,6918	2959,2370	15,7552
Tratamentos térmicos (C)	2	226296,1250	0,0000	217889,5000	0,0000
Interação A x C	2	24578,0839	0,0000	26966,8418	0,0003
Interação B x C	10	13140,3857	0,0000	10414,6445	0,0002
Interação A x B x C	10	1492,4168	38,4122	1186,3981	75,6152
Fatorial vs adicional	1	55783,8789	0,0000	54756,2500	0,0000
Tratamentos adicionais	1	1232,6669	34,6717	1014,0000	45,4526
Blocos	2	2041,7314	23,3072	4652,1206	8,1547
Resíduo	74	1374,4855		1793,8092	
C.V. (%)		4,17		39,47	

QUADRO 12 A. Resumo das análises de variância do fósforo solúvel no extrator de Bray I, após o primeiro e segundo cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo	
		Q.M.	N.S.(%)	Q.M.	N.S.(%)
Níveis (A)	1	319,1290	0,0000	276,2561	0,0000
Proporções (B)	5	372,7108	0,0000	288,2646	0,0000
Interação A x B	5	21,3296	0,0338	17,9902	0,0001
Tratamentos térmicos (C)	2	1032,0319	0,0000	784,9036	0,0000
Interação A x C	2	80,8681	0,0000	70,8382	0,0000
Interação B x C	10	448,5739	0,0000	382,0795	0,0000
Interação A x B x C	10	28,4088	0,0000	24,3223	0,0000
Fatorial vs adicional	1	4254,1362	0,0000	2048,2219	0,0000
Tratamentos adicionais	1	6764,3569	0,0000	3673,8898	0,0000
Blocos	2	18,3863	1,3728	0,2668	87,0952
Resíduo	74	4,0438		1,9278	
C.V. (%)		21,42		18,49	

QUADRO 13 A. Resumo das análises de variância do pH em KCl após o primeiro e segundo cultivos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Causas de variação	G.L.	1º cultivo		2º cultivo	
		Q.M.	N.S. (%)	Q.M.	N.S. (%)
Níveis (A)	1	3,6667	0,0000	5,0700	0,0000
Proporções (B)	5	8,9312	0,0000	12,6417	0,0000
Interação A x B	5	0,1067	17,9776	0,0993	13,6234
Tratamentos térmicos (C)	2	5,6378	0,0000	6,6703	0,0000
Interação A x C	2	0,3250	1,1223	0,3058	0,6732
Interação B x C	10	0,5944	0,0000	1,2742	0,0000
Interação A x B x C	10	0,0687	44,3643	0,0804	19,3052
Fatorial vs adicional	1	7,6752	0,0000	11,3481	0,0000
Tratamentos adicionais	1	0,0149	64,0400	0,0066	73,3559
Blocos	2	0,2600	2,6392	0,4500	0,0790
Resíduo	74	0,0681		0,0571	
C.V. (%)		4,71		3,98	

QUADRO 14 A. Cálcio e Magnésio acumulados na matéria seca da parte aérea do milho, no primeiro e segundo cultivos para os diversos tratamentos. ESAL, Lavras-MG. 1984.

Tratamentos térmicos	Proporções de calcário na mistura (%)	Níveis de adubação	1º cultivo		2º cultivo	
			Ca	Mg	Ca	Mg
			----- mg/vaso -----			
Temperatura ambiente	0	N 1	35,8	19,3	70,8	45,6
		N 2	44,7	22,0	99,1	50,7
	10	N 1	34,3	18,6	45,4	37,7
		N 2	26,3	15,7	43,8	35,7
	20	N 1	34,8	16,8	36,5	29,6
		N 2	24,9	16,3	34,6	24,1
	30	N 1	32,3	20,2	39,1	27,4
		N 2	27,7	15,5	31,3	22,0
	40	N 1	28,0	13,7	32,0	22,9
		N 2	29,8	15,6	33,9	19,6
	50	N 1	33,8	17,1	30,3	20,5
		N 2	32,1	18,1	33,6	21,4
Calcinação a 1100°C	0	N 1	29,7	18,3	44,4	30,1
		N 2	31,3	21,1	40,3	32,1
	10	N 1	28,4	22,8	35,7	29,8
		N 2	23,6	21,1	40,1	37,7
	20	N 1	30,9	25,3	30,7	27,1
		N 2	28,4	24,8	33,7	36,3
	30	N 1	28,9	24,5	33,1	32,9
		N 2	31,8	31,4	28,7	24,8
	40	N 1	40,0	32,7	27,4	24,1
		N 2	28,1	32,4	30,7	31,3
	50	N 1	23,1	18,6	36,5	31,1
		N 2	27,3	25,2	29,4	26,9
Fusão	0	N 1	22,4	16,7	35,4	20,4
		N 2	18,7	14,5	27,5	21,9
	10	N 1	24,2	17,3	36,3	23,9
		N 2	20,5	16,6	36,0	22,6
	20	N 1	21,3	15,5	33,6	21,3
		N 2	34,3	23,5	43,3	27,4
	30	N 1	30,5	20,4	44,1	32,5
		N 2	47,6	45,4	56,3	56,9
	40	N 1	40,8	29,8	59,3	46,2
		N 2	27,2	17,8	66,1	50,9
	50	N 1	29,3	24,8	44,5	38,8
		N 2	36,8	36,1	44,0	34,8
Testemunha			21,5	15,6	34,1	20,0
Completo			254,3	127,0	66,4	39,6