



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



USO AGRÍCOLA DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ÁCIDO FOSFÓRICO (GESSO)
ASSOCIADO AO CLORETO DE POTÁSSIO

JULIANO DA SILVA MARTINS DE ALMEIDA

Uberlândia – MG

2016



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



USO AGRÍCOLA DE RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE ÁCIDO FOSFÓRICO (GESSO)
ASSOCIADO AO CLORETO DE POTÁSSIO

Juliano da Silva Martins de Almeida

Orientador: Prof. Dr. Moilton Ribeiro Franco Jr

Coorientador: Prof. Dr. Hamilton C. de O. Charlo

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Química, área de concentração em Engenharia Ambiental.

Uberlândia – MG

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A498u Ameida, Juliano da Silva Martins de, 1981-
2016 Uso agrícola de resíduo da produção de ácido fosfórico (gesso)
associado ao cloreto de potássio [recurso eletrônico] / Juliano da Silva
Martins de Ameida. - 2016.

Orientador: Moilton Ribeiro Franco Júnior.

Coorientador: Hamilton C. de O. Charlo.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Química.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2018.810>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

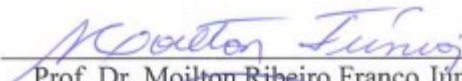
1. Engenharia química. 2. Ácido fosfórico. 3. Resíduos industriais. 4.
Solos - Correção. I. Franco Júnior, Moilton Ribeiro (Orient.). II. Charlo,
Hamilton C. de O. (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. IV. Título.

CDU: 66.0

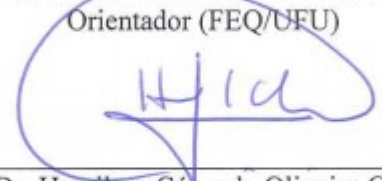
Maria Salete de Freitas Pinheiro - CRB6/1262

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA QUÍMICA EM 21/06/2016.

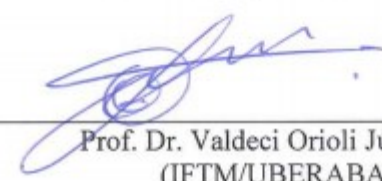
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Moilton Ribeiro Franco Júnior
Orientador (FEQ/UFU)



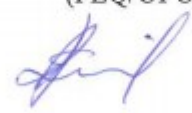
Prof. Dr. Hamilton César de Oliveira Charlo
Coorientador (IFTM/UBERABA)



Prof. Dr. Valdeci Orioli Júnior
(IFTM/UBERABA)



Profª. Drª. Miria Hespanhol Miranda Reis
(FEQ/UFU)



Prof. Dr. Eloízio Júlio Ribeiro
(FEQ/UFU)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Armando e Hilda,
aos meus irmãos, Amanda e Luciano,
à minha sobrinha Giovanna,
ao professor Welson Barbosa Santos,
e a todas as pessoas que não mediram esforços para me ajudar a conduzir esse estudo.

Agradecimentos,

A Deus, pela capacidade de superação nos momentos difíceis de fraqueza e, de serem mensurados.

À FAPEMIG, pela concessão de recursos para a realização da pesquisa (Processos RDP 00202-10 e PPM-00623-11) sem os quais seria impossível a realização da pesquisa.

À VALE pela parceria firmada na chamada pública de projetos de pesquisa Edital 01/2010.

À minha família, por me incentivarem ao longo desses anos de estudo, a não desistir do que eu acreditava que seria o melhor para minha vida.

Ao professor Welson, pelo apoio incondicional durante todos os momentos de maior angústia e por ser o maior incentivador desse sonho.

Ao prof. Hamilton, pela confiança, pelo exemplo de profissionalismo e, por me ensinar os caminhos rígidos para o desenvolvimento de um trabalho científico.

Ao prof. Moilton, pelo carinho, cuidado, zelo e pela confiança no desenvolvimento desse estudo.

Ao prof. Édimo Fernando Alves, por se propor a nos ajudar no desenvolvimento das análises estatísticas, que muito contribuíram neste estudo.

Aos profissionais da pós-graduação em Engenharia Química da UFU.

Aos amigos do IFTM, Benedicto, Rafael, Gabriel, Diego e Maranhão, os quais agradeço pela ajuda durante o desenvolvimento dos trabalhos em campo. Teria sido muito difícil conduzir tudo sem vocês.

Aos profissionais do IFTM Paulo Chiba, Daniel e Valdeci, pelo apoio e pelas orientações técnicas que somaram ao desenvolvimento desse estudo.

À professora Renata Castoldi, pelo apoio técnico nas análises laboratoriais.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	x
“ABSTRACT”	xii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 – Gesso na agricultura.....	6
2.2 – Adubação potássica.....	11
2.3 – A cultura da couve-flor	15
2.4 – A cultura do milho.....	19
2.5 – A cultura do sorgo	24
CAPÍTULO 3 – MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 - Doses de gesso e potássio no cultivo da cultura da couve-flor	30
3.1.1 Caracterização da área experimental	30
3.1.2 Delineamento experimental e tratamentos	31
3.1.3 Condução do experimento.....	32
3.1.4 Avaliações	33
3.1.4.1 Características químicas do solo	33
3.1.4.2 Avaliação do estado nutricional das plantas de couve-flor	33
3.1.4.3 Características biométricas e produtivas.....	34
3.2 - Doses de gesso e potássio no cultivo de milho verde e grãos.....	35
3.2.1 Caracterização da área experimental	35
3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos	36
3.2.3 Condução do experimento	36
3.2.4 Avaliações	37
3.2.4.1 Atributos químicos do solo.....	37
3.2.4.2 Estado nutricional das plantas de milho verde.....	37
3.2.4.3 Características biométricas e produtivas do milho verde e grãos de milho.....	38
3.3 - Doses de gesso e potássio no cultivo de sorgo para silagem e grãos.....	39
3.3.1 Caracterização da área experimental	39
3.3.2 Delineamento experimental e tratamentos	40
3.3.3 Condução do experimento	41
3.3.4 Avaliações	42
3.3.4.1 Atributos químicos do solo	42
3.3.4.2 Estado nutricional das plantas de sorgo para silagem.....	42
3.3.4.2 Características biométricas e produtivas do sorgo para silagem e grãos.....	43

3.4 - Análise de metais pesados no gesso agrícola.....	44
3.5 - Análise de dados.....	45
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Atributos químicos do solo, estado nutricional e características biométricas e produtivas da cultura da couve-flor.....	46
4.2 Atributos químicos do solo, estado nutricional e características biométricas e produtivas da cultura do milho.....	72
4.3 Atributos químicos do solo, estado nutricional e características biométricas e produtivas da cultura do sorgo.....	110
4.4 Análise do teor de metais pesados em amostra de gesso agrícola...	149
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....	151
CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante o cultivo da couve-flor (Uberaba, MG, 2014/2015).....	30
Figura 3.2. Adubação de plantio (A), couve-flor 15 dias após o transplante (B), couve-flor 25 dias após o transplante (C), couve-flor 65 dias após o transplante (D).....	33
Figura 3.3. Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante o cultivo de milho verde e em grãos (Uberaba, MG, 2015).....	35
Figura 3.4. Cultivo de milho verde e grãos de milho, 90 dias após a semeadura.....	37
Figura 3.5. Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante o cultivo de sorgo para silagem e grãos (Uberaba, MG, 2015).....	40
Figura 3.6. Cultivo de sorgo aos 45 (A) e 90 (B) dias após a semeadura.....	42
Figura 4.1. Valores de pH (CaCl_2) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.....	50
Figura 4.2. Teor de potássio (K) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.....	51
Figura 4.3. Teor de cálcio (Ca) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.....	52
Figura 4.4. Teor de alumínio (Al) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.....	53
Figura 4.5. Acidez Potencial (H^+/Al) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.....	54
Figura 4.6. Soma de bases (SB) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.....	55
Figura 4.7. CTC calculada na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.....	56
Figura 4.8. Saturação por bases (V%) nas camadas de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de couve-flor.....	57
Figura 4.9. Teor de enxofre (S) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.....	58
Figura 4.10. Teor de boro (B) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor (eixo y = 0 a $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$).....	59

Figura 4.11. Valores da relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses gesso em cultivo de couve-flor.....	60
Figura 4.12. Valores da relação Mg/K nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.....	62
Figura 4.13. Teor foliar de potássio (K) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.....	65
Figura 4.14. Teor foliar de enxofre (S) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.....	66
Figura 4.15. Teor foliar de cobre (Cu) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.....	67
Figura 4.16. Teor foliar de manganês (Mn) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.....	68
Figura 4.17. Massa comercial da cabeça (MMC) da couve-flor em função de doses de potássio.....	70
Figura 4.18. Diâmetro da cabeça (DC) da couve-flor em função de doses de potássio.....	71
Figura 4.19. Diâmetro do pedúnculo (DP) da couve-flor em função de doses de gesso e potássio.....	71
Figura 4.20. Altura da cabeça (AC) da couve-flor em função de doses de gesso e potássio.....	72
Figura 4.21. Valores de pH (CaCl ₂) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de milho em grãos.....	77
Figura 4.22. Teor de potássio (K) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho em grãos.....	79
Figura 4.23. Teor de potássio (K) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho em grãos.....	79
Figura 4.24. Teor de cálcio (Ca) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.....	80
Figura 4.25. Teor de magnésio (Mg) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	82
Figura 4.26. Teor de alumínio (Al) na camada 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	84

Figura 4.27. Acidez potencial (H+Al) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	85
Figura 4.28. Soma de bases (SB) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de milho em grãos.....	86
Figura 4.29. CTC calculada nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.....	87
Figura 4.30. Saturação por bases (V%) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de milho em grãos.....	88
Figura 4.31. Teor de enxofre (S) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	89
Figura 4.32. Teor de boro (B) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	90
Figura 4.33. Teor de ferro (Fe) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	91
Figura 4.34. Teor de manganês (Mn) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	92
Figura 4.35. Relação Ca/Mg nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.....	94
Figura 4.36. Relação Ca/K nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de potássio (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.....	95
Figura 4.37. Relação Mg/K na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho em grãos.....	96
Figura 4.38. Relação Mg/K na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.....	96
Figura 4.39. Teor foliar de potássio (K) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.....	99
Figura 4.40. Teor foliar de cálcio (Ca) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.....	100
Figura 4.41. Teor foliar de enxofre (S) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.....	101
Figura 4.42. Teor foliar de cobre (Cu) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.....	102

Figura 4.43. Teor foliar de ferro (Fe) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.....	103
Figura 4.44. Concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho verde.....	104
Figura 4.45. Valores de pH (CaCl ₂) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	115
Figura 4.46. Teor de fósforo (P) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	116
Figura 4.47. Teor de potássio (K) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	117
Figura 4.48. Teor de potássio (K) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	118
Figura 4.49. Teor de cálcio (Ca) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	118
Figura 4.50. Teor de magnésio (Mg) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	119
Figura 4.51. Teor de magnésio (Mg) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	120
Figura 4.52. Teor de alumínio (Al) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	121
Figura 4.53. Acidez potencial (H+Al) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	122
Figura 4.54. Soma de bases (SB) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	123
Figura 4.55. Capacidade de troca catiônica calculada (CTC) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	124
Figura 4.56. Saturação por bases (V%) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	125
Figura 4.57. Teor de enxofre (S) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso e potássio (A) e gesso (B) em cultivo de sorgo em grãos.....	126
Figura 4.58. Teor de boro (B) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	127

Figura 4.59. Teor de cobre (Cu) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	128
Figura 4.60. Teor de cobre (Cu) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	129
Figura 4.61. Teor de ferro (Fe) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	130
Figura 4.62. Teor de manganês (Mn) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	130
Figura 4.63. Teor de zinco (Zn) nas camadas de 0-0,20 (A) de 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	131
Figura 4.64. Relação Ca/Mg nas camadas de 0-0,20 (A) de 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	132
Figura 4.65. Relação Ca/K na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.....	133
Figura 4.66. Relação Mg/K na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.....	134
Figura 4.67. Relação Mg/K na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio (K), em cultivo de sorgo em grãos, com diferentes doses de gesso e potássio..	134
Figura 4.68. Teor foliar de nitrogênio (N) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	135
Figura 4.69. Teor foliar de potássio (K) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	138
Figura 4.70. Teor foliar de cálcio (Ca) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	139
Figura 4.71. Teor foliar de enxofre (S) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	140
Figura 4.72. Teor foliar de boro (B) foliar em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo para silagem.....	141
Figura 4.73. Teor foliar de cobre (Cu) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	142
Figura 4.74. Teor foliar de ferro (Fe) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	143

Figura 4.75. Teor foliar de zinco (Zn) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	144
Figura 4.76. Altura da planta (AP) de sorgo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	146
Figura 4.77. Diâmetro do caule (DC) da planta de sorgo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.....	147

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m do solo após o cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.....	47
Tabela 4.2. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m do solo após o cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.....	48
Tabela 4.3. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m em cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.....	49
Tabela. 4.4. Resumo da análise de variância para o estado nutricional das plantas da couve-flor em função de doses de gesso e potássio.....	63
Tabela 4.5. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os teores foliares de K, S, Cu e Mn em cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.....	64
Tabela 4.6. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas da cultura da couve-flor em cultivo em função de doses de gesso e potássio.	69
Tabela 4.7. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para as características biométricas e produtivas da couve-flor.....	69
Tabela 4.8. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m após o cultivo de milho em grãos em função de doses de gesso e potássio.....	73
Tabela 4.9. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m após o cultivo de milho em grãos em função de doses de gesso e potássio.....	74
Tabela 4.10. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo após o cultivo de milho em grãos na camada de 0-0,20 m em função de doses de gesso e potássio.....	75
Tabela 4.11. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo em cultivo de milho em grãos na camada de 0,20-0,40 m, em função de doses de gesso e potássio.....	76
Tabela 4.12. Resumo da análise de variância para o estado nutricional das plantas de milho verde em função de diferentes doses de gesso e potássio.....	97

Tabela 4.13. Modelos ajustados e selecionados, teste t, critério de informação bayesiano (BIC) para os teores de potássio, cálcio, enxofre, cobre e ferro em cultivo de milho verde em função de doses de gesso e potássio.....	98
Tabela 4.14. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas do milho verde em função de doses de gesso e potássio.....	105
Tabela 4.15. Modelo ajustado e selecionado pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para o teor de sólidos solúveis totais (SST) em cultivo de milho verde em função de doses de gesso e potássio.....	106
Tabela 4.16. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivos do cultivo de milho em grãos em função de doses de gesso e potássio.....	108
Tabela 4.17. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m após o cultivo de sorgo para produção de grãos em função de doses de gesso e potássio.....	111
Tabela 4.18. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m após o cultivo de sorgo para produção de grãos em função de doses de gesso e potássio.....	112
Tabela 4.19. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo após o cultivo de sorgo para produção de grãos na camada de 0-0,20 m em função de doses de gesso e potássio.....	113
Tabela 4.20. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo após o cultivo de sorgo para produção de grãos na camada de 0,20-0,40 m em função de doses de gesso e potássio...	114
Tabela 4.21. Resumo da análise de variância para o estado nutricional das plantas de sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.....	136
Tabela 4.22. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os teores foliares de N, K, Ca, S, Cu, B, Fe e Zn em cultivo de sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.....	137
Tabela 4.23. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas do sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.....	145
Tabela 4.24. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para as características altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC) em cultivo de sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.....	146
Tabela 4.25. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas do sorgo em grãos em função de doses de gesso e potássio.....	148

Tabela 4.26. Concentração de metais pesados níquel, cromo, cádmio e chumbo presentes no gesso agrícola, com respectivos limites aceitáveis para comparação.....	149
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

RESUMO

A busca pela utilização de resíduos industriais na agricultura tem sido, nas últimas décadas, uma alternativa viável para a destinação de rejeitos que, se armazenados de maneira incorreta, podem causar contaminações ambientais. O gesso agrícola é um resíduo produzido em grandes quantidades durante a produção de ácido fosfórico, o qual é utilizado para a produção de fertilizantes fosfatados, fazendo-se necessário, dar um destino adequado ao mesmo. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi verificar a viabilidade da utilização de gesso, associado à aplicação de potássio, como condicionador de subsuperfície do solo e na produção agrícola. Foram conduzidos três experimentos na Fazenda Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberaba, localizado no município de Uberaba-MG, em Latossolo Vermelho distrófico de textura média, utilizando-se as culturas da couve-flor, milho e sorgo, em esquema fatorial 5x5, sendo avaliadas cinco doses de gesso (0, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 kg ha⁻¹) e cinco doses de potássio (0, 100, 180, 240 e 360 kg ha⁻¹) de K₂O no delineamento em blocos completos casualizados. Em todas as culturas foram avaliados: os atributos químicos do solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m; o estado nutricional das plantas; e, os atributos biométricos e produtivos. Em adicional, verificou-se o teor de metais pesados (Cd, Cr, Pb e Ni) no gesso agrícola, com intuito de se verificar os riscos de contaminação ambiental após a aplicação desse resíduo no solo. A aplicação de gesso agrícola promoveu incrementos significativos nos teores de cálcio e enxofre nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo em todas as culturas avaliadas, o que possibilitou, o aumento nos teores foliares de Ca e S nas culturas do milho e sorgo, contudo, as produtividades de milho e sorgo não foram influenciadas pelos fatores avaliados. Houve redução significativa nos valores da acidez potencial e nos teores de Al no solo, após o cultivo de milho, em função da aplicação do gesso. A altura da planta e o diâmetro do caule no cultivo de sorgo reduziram linearmente com o aumento da aplicação do gesso. Verificou-se interações significativas entre as doses de gesso e K para as características diâmetro do pedúnculo e altura da cabeça na cultura da couve-flor, como também, para o teor de sólidos solúveis totais (°Brix) no cultivo de milho, nas quais, verificou-se aumento proporcional em suas medidas com a aplicação do gesso. A análise dos metais pesados Cd, Pb, Cr e Ni, evidenciou traços de 0,004% para o teor de Cd na amostra de gesso agrícola, indicando a viabilidade da aplicação de doses elevadas desse resíduo, como condicionador de solo na agricultura.

Palavras-chave: gesso, potássio, condicionador de solo, couve-flor, milho, sorgo

ABSTRACT

Searching for the use of industrial residues in agriculture has been, in the last few decades, a viable alternative to direct the rejects that, if stored improperly, may cause environmental contaminations. Agricultural gypsum is a residue produced in great quantities during the production of phosphoric acid, which is used to produce phosphate fertilizers, making it necessary to find an adequate destination for the residue. In this context, this paper aimed to verify the viability of using gypsum associated with the application of potassium, as a subsurface ground conditioner and in agricultural production. Three experiments were carried out in *Fazenda Experimental do Instituto Federação de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), campus Uberaba*, located in the city of Uberaba, Minas Gerais, on dystrophic Red Latosol of medium texture, using the culture of cauliflower, corn and sorghum, in a 5x5 factorial, being evaluated five doses of gypsum (0, 500, 1.000, 2.000 and 4.000 kg ha⁻¹) and five doses of potassium (0, 100, 180, 240 and 360 kg ha⁻¹) of K₂O in completely randomized design. In all the cultures we evaluated: the chemical attributes of the soil on layers of 0-0.20 and 0.20-0.40 m; the nutritional state of the plants; and the productive and biometrical attributes. In addition, we verified the volume of heavy metals (Cd, Cr, Pb and Ni) in the agricultural gypsum, in order to check the risks of environmental contamination after the application of this residue in the soil. The application of agricultural gypsum brought significant improvements in the volumes of calcium and sulfur on layers of 0-0,20 and 0.20-0.40 m of the soil in all evaluated cultures, which allowed the increase of Ca and S leaf volume in the cultures of corn and sorghum. However, the productivities of corn and sorghum were not influenced by the evaluated factors. There was a significant decrease in the values of potential acidity and in the volumes of Al in the soil, after the culture of corn, due to the application of gypsum. The plant height and the stem diameter in the culture of sorghum decreased linearly with the increase of gypsum application. Significant interactions between the doses of gypsum and K for the characteristics diameter of the peduncle and head height in the culture of cauliflower were verified, as well as for the volume of total soluble solids (°Brix) in the culture of corn, in which we verified a proportional increase in its measures with the application of gypsum. The analysis of the heavy metals Cd, Pb, Cr and Ni highlighted traces of 0.004% for the volume of Cd in the sample of agricultural gypsum, pointing out the viability of the application of high doses of this residue as a soil conditioner in agriculture.

Keywords: gypsum, potassium, soil conditioner, cauliflower, corn, sorghum

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

As atividades industriais são de grande importância para os países desenvolvidos ou em desenvolvimento, pois além de suprirem as necessidades de mão-de-obra do mercado de trabalho, movimentam a economia mundial. No entanto, há uma preocupação de movimentos ambientais e de políticas públicas, para com os efeitos que essas atividades podem causar ao meio-ambiente, que variam de acordo com o tipo de indústria, matérias-primas utilizadas, produtos fabricados, substâncias produzidas e descartadas e, do próprio processo de produção.

A extração de calcário, como exemplo de atividade industrial, provoca danos ao ambiente tanto na forma como é conduzida, quanto na geração de resíduos. Contudo, a importância dessa atividade e a gama de aplicações do produto na indústria, intensifica sua atividade exploratória nas reservas naturais, contribuindo para a degradação das áreas próximas às minas de calcário. Dentre as aplicabilidades do calcário pode-se citar seu uso nas indústrias de cal, cimento, metalurgia, química, tintas e, também, como corretivos da acidez de solos, sendo, a agricultura o segundo maior consumidor de calcário no Brasil.

Segundo Alcarde (2005), corretivos de solo, como o calcário, são produtos que neutralizam a acidez do solo e fornecem nutrientes essenciais aos vegetais, como magnésio e cálcio. Essa acidez se caracteriza pela presença de íons hidrogênio (H^+) livres na solução do solo, decorrentes de ácidos orgânicos naturais ou pela aplicação de fertilizantes nitrogenados durante o cultivo de culturas.

A acidez é prejudicial para muitas culturas, pois além de ser fator limitante na produtividade agrícola, reduz a disponibilidade de nutrientes para as plantas, contribuindo ainda para o aumento das formas tóxicas de alumínio no solo (Al^{3+}). Logo, com a aplicação de calcário tem-se a diminuição da concentração de íons H^+ presentes no solo, maior disponibilidade de nutrientes às plantas, como também o fornecimento de íons Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Segundo Caires et al. (2004), a aplicação de calcário no solo aumenta o pH, a saturação por bases e os teores de cálcio, reduzindo níveis de alumínio e manganês trocável. Contudo, Pession (2012) ressalta que os corretivos agrícolas, como o calcário, apresentam baixa solubilidade no solo, e os produtos de sua reação ficam restritos às zonas de aplicação, concentrando-se, principalmente, nas camadas superficiais do solo. Nesse contexto, visando aumentar a concentração de nutrientes em profundidade, tem-se utilizado o gesso agrícola de maneira isolada ou associado ao calcário. O gesso agrícola ou fosfogesso, quando empregado

na agricultura, pode contribuir no condicionamento do solo, promovendo a redução da saturação de alumínio que é prejudicial ao desenvolvimento de várias culturas e, ao mesmo tempo, fornecer nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas. Contudo, sua utilização na agricultura, carece de estudos mais detalhados, que indiquem os benefícios da sua aplicação no sistema solo/planta, sem causar empobrecimento de nutrientes por lixiviação nas camadas mais superficiais.

Em solos de textura arenosa e de baixa CTC, Dias (1992), ressalta que se deve ter o cuidado com a aplicação de gesso durante o preparo do solo, visto que, em comparação com os solos de textura argilosa, há maior movimentação de bases no perfil do solo, o que pode ocasionar empobrecimento de nutrientes da camada explorada pelo sistema radicular das plantas, principalmente o potássio, pois este nutriente apresenta menor retenção nos colóides do solo.

O gesso agrícola é um subproduto gerado a partir da acidulação da rocha fosfática, apatita, com ácido sulfúrico (H_2SO_4), durante a produção de ácido fosfórico (H_3PO_4), que, posteriormente, é utilizado na obtenção de fertilizantes fosfatados. Esse resíduo para Canut (2005), apresenta propriedades físicas e químicas semelhantes ao do gesso natural (sulfato de cálcio dihidratado). Segundo Raij (1988), sua composição química apresenta teores médios de 17,7% de enxofre (S), 30,9% de óxido de cálcio (CaO), 0,2% de flúor (F) e 0,7% de pentóxido de fósforo (P_2O_5), pertencendo a classe II B na classificação de resíduos, ou seja, não perigoso e inerte (LUZ, 2005).

A problemática em torno desse resíduo está centrada na sua produção (4,8 toneladas de resíduo a cada tonelada de H_3PO_4 produzido) e na estocagem, que em geral é acondicionada em pilhas expostas a atmosfera nas unidades fabris. Em relação à sua disposição, os principais efeitos causados ao meio ambiente são evidenciados pela lixiviação de sulfatos, fluoretos, metais pesados e radionuclídeos para o solo e subsolo, contaminação de reservatórios subterrâneos; absorção direta de metais pesados e radionuclídeos pelas plantas; contaminação de humanos e animais, pela emissão de radiação gama, proveniente das pilhas de gesso; entre outros (SILVA & GIULIETTI, 2010).

Em relação aos metais pesados, deve-se ressaltar ainda que, o uso indiscriminado do gesso na agricultura, pode ocasionar o acúmulo de metais no solo, como o cádmio, cromo, níquel e chumbo, tendo em vista que, a concentração desses elementos no gesso, pode variar de acordo com a composição da rocha fosfatada que é utilizada durante a produção do ácido fosfórico (RUFO, 2009).

Nesse contexto, Araújo & Fernandes (2013) salientam que algumas indústrias produtoras de H_3PO_4 , como a Vale Fertilizantes, têm se preocupado com os impactos ambientais causados pela deposição de resíduo ao meio ambiente, todavia, a legislação brasileira ainda é falha para com esse tipo de resíduo. Logo, faz-se necessário encontrar uma alternativa de reaproveitamento do mesmo, seja na construção civil, na pavimentação de rodovias ou em atividades agrícolas.

Na agricultura, o gesso pode ser empregado como fonte de cálcio e enxofre para diversas culturas. O cálcio promove o aprofundamento do sistema radicular, o que possibilita maior absorção de água e nutrientes pelas plantas. Em comparação aos corretivos de acidez empregados na agricultura, o gesso agrícola é cerca de 22,7 e 172 vezes mais solúvel que o carbonato de magnésio (MgCO_3) e carbonato de cálcio (CaCO_3), respectivamente, fator importante a ser considerado quando a aplicação desse resíduo ao solo, tem o objetivo de suprir as necessidades de cálcio e enxofre das culturas (BORKERT et al., 1987).

Contudo, apesar de alguns trabalhos (AZEVEDO et al., 2004; CAIRES et al., 2004; DEMATTÊ, 2011; ZARDO FILHO, 2011; CASTRO et al., 2013; CRUSCIOL et al., 2014) demonstrarem os efeitos da aplicação desse resíduo na agricultura, segundo Nascimento (2003), é comum que sua utilização seja restrita no cenário agrícola, fator esse, ocasionado pela falta de informações em relação à sua aplicabilidade, como também, pelo uso indiscriminado desse resíduo no passado, visto que, as indústrias de fertilizantes da época, ofereciam-no sem custo algum aos produtores rurais e, estes por sua vez, utilizavam-no de maneira inadequada. Por apresentar alta solubilidade, o gesso pode ocasionar o deslocamento de cátions como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , para camadas mais profundas no solo, principalmente os de textura arenosa (ERNANI et al., 2001). Com esse carreamento, a camada superficial ficava empobrecida e, por isso, muitas vezes os resultados em produtividade não eram favoráveis à utilização do gesso, o que influenciou de certa maneira sua empregabilidade no meio agrícola.

Nesse sentido, para minimizar os efeitos químicos e o deslocamento de cátions nas camadas superficiais do solo após a aplicação desse resíduo, pode-se associá-lo a uma fonte direta de nutrientes, que seja aplicado ao solo, durante a adubação de plantio ou de cobertura, como, por exemplo, o potássio. Na planta segundo Silveira (2000), o potássio participa no controle osmótico das células, na síntese de proteínas, está envolvido em mecanismos de defesa das plantas as pragas e doenças, como também, na ativação de enzimas.

A aplicação de potássio no solo, é um fator importante para o aumento na produtividade de determinadas culturas, tendo em vista que, a maioria dos solos do cerrado

brasileiro são intemperizados, ou seja, apresentam deficiência quanto à disponibilidade desse nutriente às plantas, após sua extração, tornando viável, a reposição do mesmo pela adubação (TANAKA et al., 1997).

Assim, acredita-se que a aplicação do potássio em conjunto com o gesso agrícola, possa vir a minimizar os possíveis efeitos da lixiviação desse e, de outros cátions na camada superficial do solo, visto que, haverá maior disponibilidade de cátions para absorção das plantas. É importante ressaltar ainda, que o gesso é uma fonte direta de cálcio e enxofre às plantas, o que torna sua aplicação favorável na agricultura, quando se considera o custo/benefício do mesmo.

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a influência do gesso agrícola, como condicionador de subsuperfície nas culturas da couve-flor, milho e sorgo, como medida de disposição final desse resíduo após a produção do ácido fosfórico.

Outro aspecto importante na condução deste estudo é incentivar o desenvolvimento de pesquisas e estudos relacionados às aplicabilidades desse resíduo, seja na agricultura ou não, como forma de encontrar medidas alternativas para seu reaproveitamento e, assim, minimizar os efeitos causados ao meio ambiente durante sua estocagem. Como objetivos específicos destaca-se:

- Quantificar os atributos biométricos e produtivos das culturas da couve-flor, milho verde, milho em grãos, sorgo para silagem e sorgo em grãos, com diferentes doses de gesso e potássio;
- Verificar o estado nutricional das culturas da couve-flor, milho e sorgo em resposta à aplicação de doses de gesso e potássio;
- Avaliar os atributos químicos do solo, nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m após a aplicação de gesso e potássio, em cultivo da couve-flor, milho e sorgo;
- Comparar os teores de macro e micronutrientes no solo e planta obtidos nas culturas avaliadas, com valores de referência e de outros trabalhos presentes na literatura;
- Quantificar metais pesados no gesso agrícola.

Nas próximas seções desta tese são apresentados:

Capítulo 2: refere-se à Revisão Bibliográfica, que trata as características gerais do gesso agrícola e sua utilização na agricultura; a utilização da adubação potássica e seus benefícios na agricultura; e, as características gerais das culturas da couve-flor; milho verde, milho em grãos, sorgo para silagem e sorgo em grãos;

Capítulo 3: são apresentados em tópicos e subtópicos os procedimentos metodológicos utilizados para a avaliação de cada cultura, bem como as variáveis avaliadas e, respectiva análise estatística empregada;

Capítulo 4: são apresentados em itens e sub-itens, os resultados obtidos para as características avaliadas no Capítulo 3; a comparação entre os valores verificados e a literatura consultada; bem como, a discussão pertinente para cada efeito verificado;

Capítulo 5: refere-se às Conclusões e Sugestões para trabalhos futuros;

Capítulo 6: lista as Referências Bibliográficas para o desenvolvimento deste estudo.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica que contextualiza e fundamenta o presente trabalho, incluindo a utilização do gesso agrícola e do potássio na agricultura, bem como, a utilização dos mesmos no cultivo das culturas da couve-flor, milho e sorgo. Cada assunto foi enfocado em tópicos específicos que serão apresentados a seguir.

2.1 Gesso na agricultura

As últimas décadas caracterizaram-se pelo grande crescimento urbano e industrial em vários países, e, acompanhado dessa expansão, observou-se o movimento de grupos sociais preocupados com a crescente degradação causada ao meio ambiente. A poluição do ar e de recursos hídricos; extinção de espécies animais e vegetais; mudanças climáticas; e, contaminação do solo por resíduos industriais, são exemplos dos impactos ocasionados à natureza. Quanto aos resíduos, em especial os industriais, estes são os mais preocupantes, pois, têm alto poder de poluição do ar, da água e do solo, necessitando de formas adequadas de tratamento e armazenamento (ARAÚJO & FERNANDES, 2013).

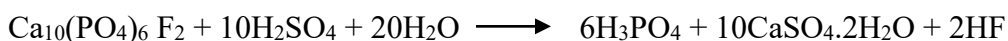
Entre as diversas atividades industriais que geram considerável volume de resíduos, pode-se citar a produção de ácido fosfórico, o qual, por sua vez, é empregado na obtenção de fertilizantes agrícolas, como adubos fosfatados. No Brasil, a produção de ácido fosfórico ultrapassou a marca de 1,6 milhões de toneladas de P_2O_5 em 2013, segundo dados da ABIQUIM (ABIQUIM, 2014). As principais indústrias brasileiras estão localizadas nas cidades de Uberaba – MG, Cubatão – SP, Cajati – SP, com produções anuais de 907.000, 146.000, 221.904 toneladas por ano.

Os fertilizantes, em especial os fosfatados, são fundamentais para impulsionar a produção agrícola em diversas áreas do planeta, pois, suprem as necessidades nutricionais das plantas. Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), os maiores consumidores de fertilizantes minerais no mundo são: a China (37,6%), a Índia (18,5%), os Estados Unidos (12,8%) e o Brasil - na quarta posição - consumindo cerca 6% (ANDA, 2014). A produção nacional é cerca de um terço ($1/3$) do que o país consome, ou seja, é necessário importar dois terços ($2/3$) de fertilizantes minerais utilizados no Brasil.

Na produção de fertilizantes fosfatados utilizam-se minérios de fosfato, que durante o processo de obtenção industrial passam pelas etapas de beneficiamento físico, tratamento

químico e, posteriormente, a preparação de misturas a serem aplicadas no solo. Contudo, segundo Cekinski et al. (1990) e Saueia et al. (2005), existe a problemática radioativa, tendo em vista que na rocha fosfática há concentrações de radionuclídeos (RN) das séries naturais de decaimento do ^{238}U e do ^{232}Th , e esses RN são distribuídos entre os produtos e subprodutos (fosfogesso) obtidos.

Malheiro (2014) corroborando com Cekinski et al. (1990), salienta que em função da baixa solubilidade em água, a rocha fosfática diminui a disponibilidade de fósforo no solo o que impede seu uso direto como fertilizante, sendo necessário o emprego de tratamentos físico-químicos para liberar o fosfato presente em sua composição. Nesse sentido, por meio do ataque com ácido sulfúrico concentrado em meio aquoso na rocha fosfatada (apatita), obtêm-se o ácido fosfórico e como subproduto o fosfogesso, conforme a reação descrita por Oliveira (2012):



Considerando a relação $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{P}_2\text{O}_5$ da ordem de 5 Mg Mg^{-1} , Araújo & Fernandes (2013) pressupõe a produção de 170 milhões de toneladas de fosfogesso anuais no mundo. No Brasil, estabelecendo-se a razão de 4,7 Mg Mg^{-1} , estima-se a geração de 5,6 milhões de toneladas por ano desse resíduo, com teor de 18-19% de S, o que representa em média um milhão de toneladas de enxofre contidos na massa depositada (FERNANDES et al., 2010).

A acidulação da rocha fosfática é necessária, pois, segundo Silva & Giulietti (2010) a apatita é pouco solúvel em água e a disponibilização do fósforo às plantas será possível desde que o mineral seja solúvel ou solubilizado. A absorção de fósforo pelas plantas torna-se possível em função do mesmo estar presente em solução na forma iônica. O cálcio também liberado, associa-se ao sulfato livre gerando o sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), gesso agrícola.

Nas indústrias observa-se que após o processamento e beneficiamento da rocha fosfatada, o fosfogesso produzido é depositado em pilhas próximas a área industrial. Para Silva (2009) e Russo (2013), as indústrias que se dedicam a produção de ácido fosfórico têm se preocupado em buscar alternativas para reaproveitamento do fosfogesso, tendo em vista que sua estocagem pode causar danos ao meio ambiente. Em sua composição pode haver concentrações de metais pesados, metaloides, fluoretos e nuclídeos radioativos, variando em função das impurezas presentes na rocha fosfática matriz (SANTOS et al., 2006).

Matos (2011) relata que o processo de estocagem do gesso agrícola é sempre acompanhado de elevados gastos às empresas, exigindo grandes áreas de empilhamento e, dependendo do preço das terras pode aumentar o custo da disposição, sendo necessário ainda, a impermeabilização dos locais de depósito. Para Matos (2011), a forma de disposição do gesso pode causar impactos ambientais como lixiviação e escoamento superficial de elementos tóxicos, SO_4^{2-} e rádio na forma solúvel ocasionando a contaminação de recursos hídricos, liberação de aerossóis nas pilhas, inalação de gás Radônio (^{222}Rn) e exposição dos trabalhadores à radiação gama.

Nesse sentido, objetivando o reuso desse resíduo, vários estudos foram desenvolvidos, como por exemplo, o seu emprego como material para preenchimento de estradas e cavas (CHANG & MANTELL, 1990), na produção de materiais de construção (SLACK, 1968; CHANG & MANTELL, 1990; RAJKOVIĆ & TAŠKOVIĆ, 2002; MAZZILLI & SAUEIA, 1997; SAUEIA, 1998), na produção de vidros e cerâmicas vitrificadas (CHAPMAN et al., 1999) e, na agricultura (ROCHA, 1985; SANTOS, 2001; SANTOS et al. 2002; OLIVEIRA, 2008; SILVA, 2009; BOURLEGAT, 2010; OLIVEIRA, 2012; SILVA, 2013).

Melo & Silva (2013) consideram importante a utilização desse resíduo na agricultura, observando-se possível redução na exploração de recursos ambientais, como as jazidas naturais de gesso e calcário. Entretanto, Rufo (2009) e Santos (2002), relatam que seu uso na agricultura deve ser cauteloso, pois em excesso pode provocar a assimilação de radionuclídeos e outros elementos pelas plantas, como também acúmulo radioativo no solo ou contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

Nesse contexto, o gesso pode ser empregado na agricultura como condicionador de solo, pela sua ação nas raízes das plantas e, como fonte de nutrientes secundários, cálcio e enxofre. Segundo Campbell et al. (2006), os condicionadores de solo melhoram a qualidade do mesmo, aumentando a concentração e a disponibilidade dos nutrientes, agindo ainda no tamponamento da acidez. Para Rajj (1988), vários fatores contribuem para utilização do gesso como condicionador de solo, entre elas, sua alta solubilidade que é cerca de 150 vezes maior que o calcário, conferindo ao mesmo maior solubilidade e mobilidade na solução do solo.

Segundo Abril et al. (2008), o uso do gesso pode melhorar as estruturas do solo e da área cultivável, reduzindo os problemas de erosão e disponibilizando enxofre às plantas. Devido a sua alta solubilidade, fornece cálcio às camadas mais internas do solo, reduzindo a

saturação do alumínio que é tóxico às plantas e contribui no aprofundamento do sistema radicular, o que favorece mais absorção de água e nutrientes à planta.

Na solução do solo, o gesso sofre dissociação liberando os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} que participam de trocas iônicas:



A troca catiônica no solo é essencial, pois permite ao solo reter vários elementos em formas acessíveis para as plantas. Segundo Carvalho & Raij (1997), o íon cálcio (Ca^{2+}) pode reagir no complexo do solo, deslocando para solução do solo cátions como alumínio (Al^{3+}), potássio (K^+) e magnésio (Mg^{2+}) e, estes por sua vez, podem reagir com o ânion sulfato (SO_4^{2-}), obtendo uma forma menos tóxica do alumínio para as plantas (AlSO_4^+) e pares iônicos neutros (K_2SO_4^0 , MgSO_4^0 , CaSO_4^0) que apresentam grande mobilidade ao longo do perfil do solo.

Rampim et al. (2011) ao avaliarem a aplicação de diferentes doses de gesso no cultivo de trigo e soja evidenciaram aumento nos teores de Ca^{2+} em todas as camadas do solo estudadas (0 a 0,40 m); redução de Mg^{2+} nas camadas superficiais e acréscimo de S em todas as camadas, o que promoveu arraste de cátions como K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} contribuindo para o melhoramento das condições subsuperficiais do solo, um ano após a aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso. A aplicação desse resíduo proporcionou aumento dos teores foliares de Ca e Mg na cultura da soja e aumento no teor de S para as culturas de soja e trigo, elevando a produtividade do trigo, cultivar CD 104, em solo com presença de Al trocável.

Silva et al. (2013) utilizaram doses crescentes de gesso agrícola para verificar a estabilidade de agregados e carbono orgânico em Latossolo do Cerrado sob Cafeicultura, verificando que o carbono orgânico total do solo correlacionou positiva e significativamente com a agregação do solo; e, que as doses elevadas de gesso, 56.000 kg ha⁻¹, alteraram positivamente a agregação do solo em 0,15 m de profundidade e, que a dose de gesso de 7.000 kg ha⁻¹ foi a melhor no que se refere ao aumento de carbono orgânico do solo na profundidade de 0,15 m.

Pauletti et al. (2014) ao associarem doses de gesso e calcário na produtividade de milho, trigo e soja observaram que o gesso proporcionou aumento de 0,17 no pH (CaCl_2) do solo a partir da camada de 0, 60 m de profundidade para doses de 12.000 kg ha⁻¹ de gesso. Os autores verificaram aumento nas concentrações de Ca^{2+} e S-SO_4^{2-} nas camadas subsuperficiais e lixiviação do Mg^{2+} . Em relação às culturas avaliadas, foi verificado aumento de 39% na

produtividade do milho com aplicação de gesso e melhoramento do sistema radicular da soja, proporcionando maior resistência quando houve deficiência hídrica.

Araújo (2015) ao avaliar a produtividade da cana-de-açúcar utilizando doses de 0 e 5.000 kg ha⁻¹ de gesso, observou o aumento na produtividade de colmos e de açúcares redutores totais na cana, elevando os teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e SO₄²⁻ e redução na saturação por alumínio nas camadas de 0,20-1,0 m, 0,40-1,0 m, 0-1,0 m e 0,40-1,0 m, respectivamente. A autora verificou que a aplicação de gesso proporcionou maiores valores da capacidade de troca catiônica na camada de 0,40-1,0 m em função do maior acúmulo de matéria orgânica (MO). O uso de gesso promoveu ainda o aumento de 5.400 kg ha⁻¹ no estoque de carbono total (CT) no solo na camada de 0-1,0 m, sendo 4.400 kg ha⁻¹ na camada de 0,40-1,0 m.

Zandoná et al. (2015) observaram aumento nos teores de Ca²⁺ e redistribuição de Mg²⁺ nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,40 m no solo, utilizando 8.000 kg ha⁻¹ de gesso com 2.000 kg ha⁻¹ de calcário; e, diminuição nos teores de Al³⁺ na camada de 0,20-0,40 m. O gesso aumentou a produtividade de grãos de milho e de soja, com resposta até a dose de 2.000 kg ha⁻¹, com incrementos de 9,3%, para o milho, e 11,4% e 11,3%, respectivamente, com e sem calcário, para a soja.

Além dos trabalhos que buscam identificar os efeitos do gesso na solução do solo e sua relação com produtividade de algumas culturas, destacam-se pesquisas relacionadas à contaminação do solo por traços de radionuclídeos ou metais pesados presentes no fosfogesso e em fertilizantes fosfatados. No trabalho de Bourlegat (2010), avaliou-se a disponibilidade dos metais As, Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, Zn e Se em amostras de fosfogesso e nos fertilizantes fosfatados superfosfato simples, superfosfato triplo, MAP e DAP, observando-se que as concentrações destes elementos estão abaixo dos limites estabelecidos pela MAPA (2007) e CETESB (2001).

Russo (2013) verificou a disponibilidade de radionuclídeos biodisponíveis em amostras de fosfogesso e fertilizantes fosfatados de procedências nacionais, constatando baixa porcentagem desses elementos em solução após extração branda com solução de EDTA, concluindo que os mesmos não estariam disponíveis ao meio ambiente. Malheiro (2014) determinou a disponibilidade de ²³⁸U e ²³²Th em amostras de solo com fosfogesso por meio da percolação com água, cujos resultados demonstraram que a fração de radionuclídeos disponíveis nas amostras analisadas foram inferiores a 0,2%. Para esse autor, os resultados indicam que a utilização do fosfogesso não contribui para o aumento da disponibilidade desses elementos na água de lixiviação.

2.2 Adubação potássica

Para as plantas crescerem e se desenvolverem existem cinco fatores indispensáveis: temperatura, luz, ar, água e nutrientes. A exceção da luz solar, o solo possui a capacidade de fornecer os demais parcial ou totalmente. Com intuito de estimar o valor agronômico do solo é determinada a sua fertilidade. Essa característica define a capacidade do solo em suprir nutrientes às plantas em quantidades e proporções adequadas (LUZ et al., 2000).

No solo, a planta retira grandes quantidades de nutrientes que podem ser classificados em macro e micronutrientes. Os macronutrientes, compostos por nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), são os requeridos em maiores quantidades pelas plantas. Exigidos em menores proporções, os micronutrientes - boro (B), cobre (Cu), cloro (Cl), ferro (Fe), níquel (Ni), molibdênio (Mo), manganês (Mn) e zinco (Zn) desempenham funções específicas no metabolismo celular.

Após o nitrogênio, o potássio é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas, estando relacionado a importantes processos fisiológicos e, por não possuir função estrutural no metabolismo vegetal, permanece totalmente na forma iônica nos tecidos vegetais. Sendo assim, como o potássio não fica incorporado às cadeias carbônicas dos restos vegetais no solo, após a colheita ou senescência das plantas, ele volta rapidamente ao solo em forma prontamente disponível para as culturas (MARSCHNER, 1995).

Segundo Ribeiro (2008), o potássio desempenha várias funções na planta, tais como hidratação e permeabilidade celular, influencia vários sistemas enzimáticos, participa no processo fotossintético e fosforilação oxidativa, auxilia na translocação de carboidratos, na abertura e fechamento de estômatos, no desenvolvimento radicular, entre outras.

Referindo-se às enzimas, o K é essencial para ativação de 60 tipos. Em função desse elemento não participar da estrutura das enzimas, provavelmente ele controla a atividade enzimática pela indução da mudança conformacional na molécula proteica, ao interferir no seu grau de hidratação (MANCUSO, 2012). Dentre as enzimas, destacam-se a cinase do piruvato, H⁺-ATPase e sintase do amido. Ademais, o K está diretamente envolvido no processo de síntese proteica, sendo essencial para a ligação do t-RNA aos ribossomos (MARSCHNER, 1995).

Historicamente, como descreve Mancuso (2012), o potássio vem sendo empregado na agricultura como fertilizante desde o século III a.C., na forma de adubo ou cinzas. Para Nascimento & Lápido-Loureiro (2009), povos indígenas da América do Norte possuíam a prática de fertilizar o solo com cinzas de árvores, quando chegaram os primeiros

colonizadores europeus. Anteriormente à exploração desse mineral no início do século XX (CANADIAN POTASH PRODUCER, 2001; IPI, 2012), a produção potássica consistia na obtenção de carbonato de potássio (K_2CO_3) de fontes naturais, como cinzas de madeira e salmouras provenientes de sal marinho.

Posteriormente, com o início da atividade mineradora de extração de potássio nos séculos XX e XXI, o cloreto de potássio (KCl) tornou-se a forma comercial de potássio mais utilizada na agricultura mundial, apresentando em média teor de 60% de K_2O , seguida de outras fontes, como o sulfato de potássio (K_2SO_4), sulfato de potássio e magnésio ($(K_2.2Mg)SO_4$) e o nitrato de potássio (KNO_3), com 50, 40 e 46% de K_2O , respectivamente (MARTINS et al., 2008).

Na planta, segundo Malavolta et al. (1997), o potássio é absorvido pelo contato íon-raiz, na forma iônica (K^+), contra um gradiente de concentração, caracterizando-se como um processo ativo e, que necessita da absorção de luz pelas plantas para ocorrer. Seu movimento na folha se dá via simplasto e apoplasto, respeitada a barreira das estrias de Cáspari e, a longa distância, o transporte é realizado pelo xilema. Contudo, sua redistribuição ou translocação da folha para outros órgãos, se dá por meio do floema e é evidenciada facilmente pela ocorrência de sintomas de deficiência (MALAVOLTA, 2004).

Os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas mais velhas, com clorose das bordas para o centro da folha, seguida de necrose. A deficiência de potássio diminui a fotossíntese e aumenta a respiração, reduzindo o suprimento de carboidratos e, por conseguinte, o crescimento da planta. Segundo Malavolta et al. (1997), para que a absorção desse nutriente atinja o seu máximo, faz-se necessário a presença de íons cálcio (Ca^{2+}) no meio. Contudo, os autores ressaltam que o excesso de íons Ca^{+2} causado em situações de super calagem, inibem a absorção de K^+ .

Para Malavolta (2004), fatores externos como a concentração de K na solução do solo; teores de cálcio e sódio; temperatura; e, umidade, influenciam a absorção de potássio pelas raízes. Há também a influência de fatores internos como a concentração de K na raiz, as características da raiz, a velocidade de absorção de água e a variedade da cultura. Malavolta et al. (1997) afirmam que as raízes contêm cerca de 16% do potássio total da planta e nas suas células, estimam-se concentrações de K vascular entre 1/10 – 1/5 da encontrada no citoplasma. Nas folhas, as células apresentam concentrações semelhantes às encontradas no citoplasma, núcleo e cloroplastos, sendo o dobro dessa concentração encontrado no vacúolo.

Segundo Römheld (2004), a maior disponibilidade de potássio na planta promove mudanças metabólicas que refletem em maiores concentrações de amido, celulose e proteínas; menores teores de nitrato, açúcares e aminoácidos nas plantas, o que permite maior resistência aos patógenos. Em alguns casos, Cakmak (2004) salienta que a expansão celular se dá em virtude da acumulação de K nas células, necessária para estabilizar o pH do citoplasma e aumentar o potencial osmótico nos vacúolos.

Para Ribeiro (2008), os hormônios giberelina e auxina, que induzem o alongamento celular, dependem do potássio, especialmente sob condições de semeadura em profundidade, para a iniciação e formação do sistema radicular e estabelecimento da plântula. Logo, as proteínas transportadoras de K desempenham papel importante na absorção e translocação de potássio, contribuindo para a elongação celular.

Segundo Römheld (2004), a presença do potássio na rizosfera permite melhor distribuição de carboidratos entre a parte aérea e as raízes, aumento no uso da eficiência de água, maior atividade microbiana e diminuição do pH da rizosfera, promovendo melhor absorção do fósforo, silício e micronutrientes catiônicos.

No solo, as formas disponíveis de potássio para a planta são classificadas em potássio trocável, que está presente nos diferentes sítios de adsorção e, K não trocável, que é extraído do solo por meio da acidulação, processo que utiliza ácido sulfúrico ou nítrico fervente em contato direto com a rocha fosfática (NACHTIGALL & RAIJ, 2004). O potássio não trocável (CURI, 2004), representa a reserva de potássio contida em minerais, tais como os feldspatos potássicos e micas, bem como o potássio fixado nas entrecamadas de argilominerais expansivos como a vermiculita e esmectita e, o K trocável, representa a forma prontamente disponível para a planta, retido na CTC do solo.

Mielniczuk & Selbach (1978) ao realizarem estudo com seis solos do Rio Grande do Sul, verificaram alta correlação entre o total de K extraído por cultivos sucessivos e o K-trocável e, entre o K extraído com o HNO₃. Os autores evidenciaram que os teores do K-trocável diminuíram, em média, 75% e 87% para os tratamentos sem e com aplicação de K, respectivamente. O K-HNO₃ reduziu 57% e 75% em suas concentrações. Estas observações, portanto, evidenciam a rápida redução do potássio em solos que sofrem intemperismo, bem como a importância das formas de potássio para o solo.

Na solução do solo, segundo Nava (2007), existe certo equilíbrio entre as formas de potássio. As plantas ao realizarem o processo de absorção no solo, extraem as formas trocáveis, posteriormente, compensadas pelas formas não trocáveis e estruturais. Essas formas

são consideradas reservas de médio e longo prazo para as plantas. Sob o ponto de vista nutricional das plantas, o equilíbrio primordial se dá entre o K trocável e o K disponível, que são as fontes imediatas de K para as plantas. Após o esgotamento dessas formas, o K não-trocável, é lentamente liberado para o solo, podendo então ser absorvido pelas plantas, ficar retido na CTC do solo, fixado, erodido, lixiviado, biociclado, etc (RIBEIRO, 2008).

No Brasil, em função da maioria dos solos sofrerem processos de intemperismo e lixiviação, com a presença de diferentes concentrações dos compostos caulinita $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$, gibbsita $[Al(OH)_3]$, goethita (FeOOH) e hematita (Fe₂O₃), na fração argila e com pequenas quantidades de minerais fornecedores de K nas frações areia e silte, as reservas de potássio não-trocável tendem a ser escassas, caracterizando ambientes com baixas reservas de K a médio e longo prazo (CURI, 2004).

Logo, é comum verificar nestes ambientes uma redução significativa nos teores de K trocável, sendo necessário realizar reposição via adubação. Contudo, percebe-se em diversas situações que a quantidade de potássio extraída pelas plantas, é superior às formas trocáveis, pelo que as formas de K não-trocável contribuem consideravelmente para o total de K absorvido pelas plantas (NAVA, 2007).

Para Silva et al. (1995) e Cruz (2009), o potássio não-trocável é absorvido em quantidades consideráveis por várias espécies vegetais, em diferentes tipos de solos brasileiros. Contudo, apesar de Raij et al. (1996), considerarem que o K não-trocável do solo e o K dos restos vegetais possam vir a contribuir para as plantas cultivadas, observa-se que nos manuais de adubação a recomendação de doses de potássio para as culturas é embasada principalmente nos teores de K trocável do solo da camada arável.

Nesse sentido, demonstrada a importância do potássio para os sistemas solo-planta e, consequentemente, para a produtividade nas culturas, vários trabalhos têm sido desenvolvidos nas últimas décadas, buscando evidenciar os benefícios da adubação potássica na agricultura. Pavinato et al. (2008) ao utilizarem doses de potássio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de KCl) combinadas com nitrogênio, não verificaram resposta significativa para a produtividade de grãos de milho em função da aplicação do potássio na forma de KCl, devido aos altos teores disponíveis de K no solo em questão. Porém, os autores ressaltam que a adubação potássica é indispensável para evitar o esgotamento do elemento no solo.

Bernardi et al. (2009) ao avaliarem a eficiência da adubação potássica em relação a doses, modos e épocas de aplicação na sucessão de culturas de soja-milheto-algodoeiro cultivadas em sistema de plantio direto, verificaram o efeito não significativo para a

produtividade da soja. Contudo, os autores evidenciaram que o milheto, como cobertura de solo aproveitou mais eficientemente a dose de 60 kg ha^{-1} de K_2O , aplicada na cultura da soja. Para a cultura do algodoeiro, a maior eficiência agrônômica foi obtida com dose de 146 kg ha^{-1} de K_2O , em pré-semeadura.

Otto et al. (2010) trabalhando com doses e modos de aplicação de K, avaliaram a produtividade de colmos e atributos tecnológicos da cana-de-açúcar, observando que doses de K aumentaram o crescimento em altura e o perfilhamento da cana-de-açúcar para os modos de aplicação. A produtividade dos colmos e do açúcar aumentou com a dose máxima de 160 kg ha^{-1} de K_2O . A produtividade máxima estimada em $160.000 \text{ kg ha}^{-1}$ foi obtida utilizando 130 e 150 kg ha^{-1} de K_2O , para aplicações parcelada e única de K, respectivamente.

Melo et al. (2010) avaliaram a produção de três híbridos de sorgo, em função de sistemas de manejo e doses de K (50, 100, 200 e 300 kg ha^{-1} de K_2O), em área de baixa capacidade produtiva. O rendimento máximo de massa seca da parte aérea (MSPA) obtido pelos autores ocorreu com a dose de 172 kg ha^{-1} de K_2O .

Veloso et al. (2011) avaliaram o efeito da aplicação de potássio no solo (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha^{-1} de K_2O) e do parcelamento da adubação na produtividade do milho no oeste do Pará. Os autores encontraram resposta significativa para a produtividade do milho utilizando a dose máxima de 100 kg ha^{-1} de K_2O , não havendo benefício decorrente da aplicação de doses superiores, e atribuíram a significância da resposta ao fato do solo apresentar teor baixo de potássio ($0,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para a localidade em questão.

Cruz et al. (2014) trabalhando com doses de potássio (0, 75, 150, 225 kg ha^{-1} de K_2O) em associação à cobertura vegetal do solo com capim Marandu, avaliaram a produtividade do milho e o teor de K no solo. Foi verificado que no solo com baixo teor de K, o milho responde à adubação potássica, independente da presença de palha de capim Marandu. A adubação potássica aplicada em superfície com ou sem palhada, elevou os teores de K do solo mesmo em camadas mais profundas; como planta de cobertura, o capim Marandu aumentou a eficiência da adubação potássica com consequente aumento de produtividade da cultura do milho.

2.3 A cultura da couve-flor

As hortaliças compreendem um grupo de plantas comestíveis, de alto valor nutritivo e apresentam mais de 100 espécies cultivadas de forma temporária (MELO & VILELA, 2007). Segundo dados da Embrapa (EMBRAPA - Hortaliças, 2010), o

Brasil destaca-se como um dos principais produtores de hortaliças do mundo, apresentando aproximadamente área de 808,5 mil hectares destinados à produção das mesmas, dos quais são produzidos cerca de 19,3 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2012).

Entre o cultivo das hortaliças no Brasil, dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2006) indicaram a produção de 141.806 toneladas de couve-flor, sendo a região Sudeste a maior produtora. Segundo dados das Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S.A. foram comercializadas cerca de 13.533,261 quilogramas de couve-flor em 2014, nas principais unidades de abastecimento do estado de Minas Gerais (CEASAMINAS, 2014).

Pertencente à família *Brassicaceae*, a couve-flor (*Brassica oleracea* var. *botrytis* L.), é uma hortaliça mundialmente consumida por apresentar considerável valor nutritivo, como vitaminas A, B, e C, minerais como potássio e fósforo, baixo teor calórico, elevado conteúdo de cálcio, além de propriedades mineralizante, fortificante e oxidante (MAMBREU et al., 2007).

Historicamente, seu surgimento se deu ao longo da Costa do Mediterrâneo, pela descendência de uma espécie de couve selvagem denominada de *Brassica oleracea* var. *silvestris*, semelhante à couve-comum (*Brassica oleracea* var. *acephala*), cuja espécie, pode ser encontrada no litoral europeu e em regiões costeiras do mar Mediterrâneo. Esta planta, segundo Filgueira (2008), originou sete diferentes culturas oleráceas, todas pertencentes à mesma espécie, entretanto, classificadas como: brócolis (*B. oleracea* var.) couve-de-bruxelas (*B. oleracea* var. *gemmifera*), couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*), couve-de-folhas (*B. oleracea* var. *acephala*), couve-rábano (*B. oleracea* var. *gongylodes*), couve-tronchuda (*B. oleracea* var. *tronchuda*), repolho (*B. oleracea* var. *capitata*).

No continente europeu a couve-flor foi introduzida na Itália por volta de 1409 e, na Alemanha, França e Inglaterra no início do século XVII. No Brasil, as cultivares tradicionais de couve-flor, de origem europeia, foram introduzidas na região de Teresópolis por volta do século XIX, com a vinda dos primeiros imigrantes italianos para os estados da região sul e sudeste (PÔRTO, 2009).

Segundo dados da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2009), a China é mundialmente o maior produtor de couve-flor (43,21%), seguido da Índia (32,30%), Espanha (2,46%), México (2,05%) e Itália (2,02%). Em regiões brasileiras, a couve-flor é mais cultivada nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina (SILVA et al., 2009). As regiões de maior produtividade são: Ibiúna, Porto Feliz, Itatiba, Jarinú e Sorocaba, em São Paulo; Carandaí e

Barbacena, em Minas Gerais; São José dos Pinhais, Colombo e Londrina, no Paraná; Caxias do Sul, no Rio Grande do Sul; Teresópolis, no Rio de Janeiro; Venda Nova dos Imigrantes, no Espírito Santo; e, Jaguaquara, na Bahia (MAY et al., 2007).

Por ser uma planta alógama e comportar-se como uma cultura indiferente ao fotoperíodo, a temperatura é fator limitante para seu cultivo. Possui folhas alongadas de limbo elíptico e suas raízes concentram-se a cerca de 0,20 a 0,30 m de profundidade. A inflorescência, parte comestível, desenvolve-se sobre um caule curto, sendo formada a partir do conjunto de primórdios florais. Esses primórdios transformam-se, posteriormente, em botões florais, resultando em colorações branca, creme, amarela, verde e roxa (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008).

A couve-flor por se tratar de uma cultura típica de estações outono-inverno exige clima frio para formação da cabeça, o que de certa forma restringe seu plantio em regiões que apresentam temperaturas elevadas. A faixa ideal de temperatura para o cultivo e desenvolvimento dessa cultura situa-se entre 14 e 20°C. Temperaturas acima de 25°C, podem provocar a não-formação da inflorescência ou a perda de compacidade; e, temperaturas próximas a 0°C, provocam injúrias por congelamento no ápice dos ramos, resultando em não-formação da inflorescência. Em condições favoráveis ao cultivo, o desenvolvimento se dá em quatro etapas: a) de 0 a 30 dias, ocorre o crescimento inicial após a emergência das plântulas até a emissão de 5 a 7 folhas definitivas; b) de 30 a 60 dias, há a fase de expansão das folhas externas; c) entre 60 a 90 dias, ocorre a diferenciação e o desenvolvimento dos primórdios florais e das folhas externas; d) na quarta etapa, compreendida entre 90 e 120 dias, ocorre o desenvolvimento da inflorescência, sendo esta última etapa a mais importante para produção de sementes. Entretanto, essas etapas variam em função das cultivares existentes, como também, das condições ambientais da região de cultivo, o que de certa forma influencia no valor do produto ofertado nos mercados distribuidores (MAY et al., 2007).

Com relação às condições climáticas como um dos fatores limitantes na produção dessa cultura, é importante ressaltar o desenvolvimento de novas técnicas de melhoramento genético, que propiciaram a obtenção de cultivares e híbridos de alta qualidade que se adaptam as regiões de clima quente, favorecendo o cultivo dessa cultura em diferentes estações anuais.

No Brasil, como descreve Silva (2014), o melhoramento genético iniciou-se no ano de 1944, com os estudos do professor Marcílio de Souza Dias, na Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, que realizou cruzamentos entre populações de couve-flor indiana

de verão, Early Market, com a cultivar Snowball (americana), obtendo a cultivar Piracicaba Precoce 1. Essa cultivar apresentou tolerância às temperaturas elevadas e a podridão negra, permitindo seu cultivo e colheita durante o verão.

Posteriormente, Verdial (2001) menciona que devido às oscilações de temperaturas de meia estação no ano de 1960, novos cruzamentos foram conduzidos entre as cultivares Teresópolis (inverno) e Piracicaba Precoce (verão), obtendo-se híbridos F1 (inverno x verão), que apresentavam comportamento típico de cultivares de verão, com cabeças grandes e maior tolerância às oscilações de temperaturas, sendo indicadas para o cultivo entre os meses de abril-maio e setembro-outubro.

Nesse sentido, em função da diversidade de cultivares existentes atualmente no mercado agrícola, May et al. (2007) classificam as mesmas em cultivares de verão, meia estação e de inverno. Entre as de verão, podem-se citar os híbridos: Cindy, Karen, Luna, Sarah, Híbrido Sharon, Shiromaru II, Snow Flake Kobayashi, Veneza, Verona 184, Verona 284, Piraciba Precoce, todas apresentando ciclo médio entre 80 a 100 dias. As cultivares de meia estação Barcelona e Sharon – adaptada para o cultivo no fim da primavera/verão -, apresentam resistência à podridão negra e ciclo médio entre 90 a 120 dias.

As cultivares de inverno Bola de Neve Precoce, Híbrido First Snow Kobayashi, Híbrido Florença, Híbrido Júlia, Híbrido Silver Star, Híbrido Silver Streak Plus, Híbrido Snow Mystique, Híbrido Yuki, Teresópolis Gigante e Teresópolis Precoce, apresentam ciclo médio de vida entre 95 a 150 dias da sementeira, inflorescência média entre 0,8 a 3,0 kg e, coloração branca ou creme-branca. Em geral, independente da cultivar e sua classificação, essas hortaliças apresentam folhas alongadas, raízes concentradas a uma profundidade de 0,20 m, caule curto, coloração branca ou creme ou amarela ou roxa ou verde (MAY et al., 2007).

Assim como outras brássicas, a couve-flor desenvolve-se bem em solos tipicamente argilosos, ricos em matéria orgânica e bem drenados. É pouco tolerante à acidez e ao alumínio, exigindo solos com pH entre 6,0 e 6,8. Kano et al. (2010) e Mello et al. (2009), salientam que a produtividade e qualidade dessa hortaliça são influenciadas tanto pelas condições climáticas quanto pelo manejo de adubação.

Para Trani et al. (1996), a calagem e adubação são procedimentos fundamentais para se atingir alta produtividade. De acordo com os resultados das análises do solo, May et al. (2007), corroborando com Trani et al. (1996), orientam a aplicação de calcário para elevação da saturação de bases (V) para 80% e, teor mínimo de magnésio a

9 mmol_c dm⁻³. Entre os nutrientes proporcionados através da adubação química, destacam-se o nitrogênio, fósforo e potássio.

Segundo Malavolta (1980) e Marschner (1995), em doses adequadas o potássio atua no controle da turgidez do tecido, no transporte de carboidratos, transpiração, resistência a condições extremas de frio e seca, ativação de muitas enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese, abertura e fechamento de estômatos, entre outros. Contudo, Faquin (2005), afirma que por não fazer parte de nenhum composto orgânico, o potássio pode ser facilmente liberado pela planta, ocasionando deficiência.

Nesse contexto, são encontrados na literatura estudos que evidenciam os efeitos da adubação potássica na cultura da couve-flor. Wenqiang et al. (2004) avaliando a resposta da couve-flor em função da aplicação de doses crescentes de K (0, 225 e 450 kg ha⁻¹ de K₂O), verificaram aumento nas características biométricas e produtivas da cultura, ou seja, altura da planta, diâmetro da inflorescência e massa da cabeça.

Silva (2013) ao avaliar a aplicação de diferentes doses de K₂O no cultivo de brócolis e couve-flor, verificou efeitos crescentes para os teores foliar e do solo de K na cultura de couve-flor em resposta à aplicação de K. O autor observou ainda que a adubação potássica promoveu incrementos nas características biométricas da cultura, como por exemplo, diâmetro da inflorescência e massa da cabeça.

Contudo, Godoy et al. (2012), aplicando diferentes doses de K (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O) em cobertura no cultivo da couve-flor Teresópolis Gigante, observaram que os tratamentos utilizados não promoveram significância para as características biométricas da cultura (número de folhas, diâmetro e massa da cabeça) e afirmaram que a adubação potássica apenas no plantio foi suficiente.

2.4 A cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie pertencente à família *Poaceae*, cultivada há mais de 8.000 anos em vários países do mundo, como, por exemplo, nos Estados Unidos, China, Índia, Brasil, França, entre outros. Sua adaptabilidade a variados climas e altitudes permite seu cultivo desde o Equador até o limite das zonas temperadas, com áreas cultivadas que se situam do nível do mar a 3.600 metros altitude. Fornece uma vasta gama de produtos utilizados pelo homem e pelos animais, sendo importante fonte de matéria-prima para a indústria, em razão da quantidade e da natureza das reservas acumuladas em seus grãos (SEVERINO et al., 2005; BARROS & CALADO, 2014).

Segundo dados do United States Department of Agriculture (USDA, 2015), os maiores produtores de milho são os Estados Unidos, China e Brasil, os quais na safra 2014/2015 produziram aproximadamente: 361,1; 215,7; e 81 milhões de toneladas, respectivamente. No Brasil, a produção de milho é obtida através do plantio em duas épocas: primeira safra ou safra de verão e segunda safra ou safrinha. A segunda safra, que visa à produção do milho de sequeiro ocorre entre os meses de janeiro a março, tornando-se uma opção de cultivo para o período do inverno, substituindo o cultivo do trigo em algumas regiões brasileiras (EMBRAPA, 2011; AMSTALDEN, 2013).

Por meio da irrigação, é possível explorar a cultura anualmente no Brasil, produzindo tanto as formas verde, quanto em grãos. Para Alves (2014), o milho verde é consumido na forma *in natura* ou utilizado no preparo de pratos típicos como o curau, pamonha ou bolo, sendo esse, cultivado principalmente por horticultores em pequenas propriedades.

Segundo Filho (2008), para que seja colhido e comercializado na fase leitosa, o grão de milho verde deve apresentar umidade entre 70% a 80%, variando essa faixa de acordo com as condições climáticas da região ou época de semeadura. Para tanto, a comercialização exige dos agricultores, a produtividade de espigas que apresentem boa formação, que estejam bem granadas e, em boas condições sanitárias (SILVA & PATERNIANI, 1986).

Moraes (2009) salienta ainda que, entre as características exigidas na comercialização de milho verde no mercado brasileiro encontram-se: grãos dentados amarelos e uniformes, espigas longas e cilíndricas que apresentem sabugo fino e claro, alta capacidade de produção de massa e baixa produção de bagaço. Em grãos, cerca de 70% da produtividade mundial de milho é utilizada na alimentação animal, variando de 60 a 80% no Brasil, de acordo com a fonte de estimativa, quanto a produção de ano para ano.

Severino et al. (2005) e Amstalden (2013) afirmam que o cultivo do milho vem atingindo bons resultados de produtividade nos últimos anos e de certa forma, isso reflete no papel socioeconômico que essa cultura representa para o Brasil. Graças ao avanço tecnológico e ao melhoramento genético das cultivares, a cultura do milho atingiu um novo patamar de produtividade nas últimas cinco safras, o que era possível apenas para países como os Estados Unidos, considerados desenvolvidos e detentores de alta tecnologia.

Segundo Sans & Guimarães (2010), a produtividade do milho é dependente de várias condições, sendo as mais importantes a interceptação de radiação pelo dossel, eficiência metabólica, eficiência de translocação de fotossintatos para os grãos e a capacidade de dreno. Contudo, Oliveira et al. (2013), destacam o clima, a fertilidade do solo, o manejo de

nutrientes, práticas culturais, potencial genético dos materiais e manejo de pragas e doenças, como as condições que mais afetam a produtividade do milho.

Em termos climáticos, os fatores que mais refletem na cultura do milho são a radiação solar, a precipitação e a temperatura, pois esses fatores atuam diretamente nas atividades fisiológicas, interferindo na produção de grãos e de matéria seca. Segundo Pereira Filho & Cruz (2003), os processos metabólicos do milho são influenciados pela temperatura, sendo considerada uma faixa ideal para essa grandeza valores entre 26 e 30°C, para a fase que vai da emergência à floração.

De acordo com a Embrapa (2004), a temperatura para germinação até a maturação deve ficar próxima dos 25°C. Cruz et al. (2010) ao compararem temperaturas médias de 25°C, 21°C e 18°C, observaram melhor desempenho para a média de 21°C, apresentando maior produção de grãos e massa seca. Os autores atribuem isso ao fato do milho necessitar acumular determinadas quantidades de unidades calóricas em cada etapa de desenvolvimento e, na hipótese de elevadas temperaturas, o ciclo da planta é acelerado devido ao acúmulo de graus dias, gerando consequências como a redução da produção.

Por ser considerada uma planta do grupo C4, o milho apresenta elevada taxa fotossintética (valores acima de 80 mg dm⁻² h⁻¹), não saturando por radiação solar, pois o mecanismo de concentração de CO₂ provoca a saturação do mesmo no sítio da Rubisco, não permitindo limitação da carboxilação (BERGONCI & BERGAMASCHI, 2002). Tal característica, segundo Fancelli & Dourado Neto (2000), incrementa maiores rendimentos na produção, à medida que aumenta a intensidade luminosa nos locais onde estiver sendo cultivado.

Sans & Guimarães (2010) reforçam que a maior sensibilidade à variação de luz, ocorre nos primeiros 15 dias após o pendoamento. O aproveitamento máximo da luz pelo milho dependerá da estrutura da planta, principalmente em relação à distribuição espacial das folhas. Os autores afirmam que uma redução de 30 a 40% da intensidade luminosa ocasiona atraso na maturação dos grãos, observando-se que o número de plantas não exceda a 65.000 plantas por hectare. Ganem (2013) referindo-se ao número de plantas por hectare, afirma que cultivares precoces produzem pouca massa vegetal, favorecendo condições para penetração de luz no ambiente, o que permite o cultivo com menores espaçamentos e maiores populações.

Segundo dados da Embrapa (2004), o milho necessita no mínimo de 350 a 500 mm de chuva por ciclo para desenvolvimento completo dos seus estádios, fazendo-se necessário o

uso da irrigação para suplementar a deficiência hídrica. Bergamaschi et al. (2006) avaliando o impacto do déficit hídrico no rendimento de grãos de milho e a eficácia da irrigação, observou maior redução na produtividade em consequência do déficit hídrico na polinização, formação do zigoto e desenvolvimento inicial do grão, numa relação quadrática. A irrigação, utilizando rega de 60% da fração necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo aumentou produção do milho.

O déficit hídrico torna-se um dos principais fatores responsáveis pelos baixos índices de produtividade em algumas culturas brasileiras (NOGUEIRA et al., 2001). Essa deficiência como afirma Chaves (1991), causa alterações no comportamento das plantas e a sua recuperação após o déficit é relativa, pois depende do genótipo, da duração, severidade e estágio de desenvolvimento em que sofreu o estresse. Para Santos & Carlesso (1998), o milho é relativamente tolerante a escassez hídrica durante a fase vegetativa, porém, durante a fase reprodutiva demonstra extrema sensibilidade com decréscimo no rendimento de grãos.

Como nas demais culturas, os aspectos físicos do solo e as condições nutricionais influenciam diretamente no cultivo do milho e no aumento da produtividade. Em relação a esses aspectos físicos, Landau et al. (2010) destacam uma série de observações importantes para a escolha de um solo adequado ao cultivo: a) solos de textura média apresentando teores de argila entre 30 a 35% apresentam boa capacidade de retenção de água e nutrientes; b) solos arenosos com teor de argila abaixo de 15% devem ser evitados, pois, apresentam intensa lixiviação, retendo menos quantidades de água e nutrientes; c) solos com tipo de argila expansiva podem prejudicar as condições de permeabilidade e a livre penetração do sistema radicular; d) é desejável solos com mais de 1,0 metro de profundidade para melhor desenvolvimento das raízes e manutenção de água.

Viana et al. (2006) ressaltam que a prática do manejo adequado do solo e da água propiciam sistemas sustentáveis para a produção do milho, pois, após o cultivo, o solo pode sofrer degradação das suas características físicas, químicas e biológicas, de tal maneira que as características iniciais não serão mantidas. Junior et al. (2014) avaliando o crescimento e a produtividade do milho em função de espaçamentos entre linhas e do sistema de preparo do solo (sistema plantio direto, subsolagem e gradagem aradora) verificaram que os sistemas conservacionistas do solo como o plantio direto e a subsolagem aumentou a produtividade de grãos.

Para Coelho (2006), potencializando as condições de desenvolvimento das plantas por meio da melhoria da fertilidade do solo são atendidas as exigências nutricionais da cultura

do milho de alta produtividade. Logo, a nutrição, a fertilidade do solo e a adubação são constituintes essenciais para a construção de um sistema de produção eficaz, disponibilizando em quantidade, tempo e forma os nutrientes requeridos pela cultura.

Em relação à exportação de nutrientes pela cultura do milho, dados de Coelho (2006), apontam que o nitrogênio (N) e o fósforo (P) são quase totalmente translocados para os grãos, seguidos pelo magnésio (Mg), o potássio (K) e cálcio (Ca). Essa análise implica que a incorporação dos restos culturais devolve ao solo parte dos nutrientes, principalmente K e Ca, contidos na palhada. Sá et al. (2011) trabalhando com extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho submetidos a níveis de palha no sistema plantio direto, observaram que o aumento na quantidade de palha na superfície do solo resultou em maior extração total de N, P e K, embora a quantidade utilizada não tenha afetado na extração total dos elementos Ca, Mg e S pela planta de milho. Para o potássio (K), sua disponibilidade na cultura do milho irá variar de acordo com a quantidade e as formas de potássio disponíveis no solo (EMBRAPA, 2001).

No milho, o potássio apresenta alta mobilidade nas células individuais e entre os tecidos, como também, alta mobilidade no transporte a longa distância, via xilema e floema. Segundo Rodrigues et al. (2014), o potássio influencia positivamente na massa individual e no número de grãos por espiga de milho. Posteriormente ao nitrogênio, os autores afirmam que o potássio é o segundo elemento absorvido em maiores quantidades pela cultura do milho, exportando 30% do K que é extraído, através dos grãos.

Nesse contexto, devido a importância do potássio na cultura do milho, alguns trabalhos têm evidenciado os efeitos da adubação potássica na cultura do milho, destacando-se os aspectos positivos e negativos de sua aplicação. Silva et al. (2010) ao avaliarem a aplicação de quatro doses de K (0, 50, 100 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O) no cultivo de milho em Latossolo Vermelho distrófico, observaram aumento linear na massa de 100 grãos da espiga, como também, no número de grãos e produtividade de grãos de milho.

Valderrama et al. (2011) aplicando diferentes doses de potássio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) em sulco de semeadura na cultura do milho em Latossolo Vermelho distrófico argiloso, não observaram efeitos significativos no diâmetro do colmo, altura da planta e da inserção da espiga e na produtividade de grãos em resposta à adubação potássica, bem como, verificaram redução na população de plantas de milho com o aumento das doses de K, atribuindo a redução, ao efeito salino no solo.

Veloso et al. (2011) avaliando a influência de doses crescentes de K (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O) e épocas de aplicação na produtividade de grãos de milho em Latossolo Amarelo distrófico, verificaram aumento na produtividade de grãos de milho com aplicação de até 100 kg ha⁻¹ K₂O, resultado, atribuído ao baixo teor de K⁺ disponível no solo (23 mg dm⁻³) no início do experimento.

Avaliando os efeitos de doses de K na cultura do milho por meio das formas convencional e revestido (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O), Rodrigues et al. (2014) observaram que o aumento nas doses de K influenciou positivamente nos teores foliares de K e de clorofila, na altura da planta e na inserção da espiga e, no número de fileiras e de grãos por espiga. A máxima produtividade de grãos de milho foi obtida com a aplicação de 83,5 kg ha⁻¹ de K₂O.

Diversas pesquisas têm demonstrado também, os efeitos da aplicação do gesso agrícola na cultura do milho (CAIRES et al., 1999, 2004; ZAMBROSI et al., 2007; MASCHIETTO, 2009; CHAIS, 2013; ZANDONÁ, 2015) indicando aumentos na produtividade, alterações nos atributos químicos do solo e na concentração foliar de nutrientes. Maschietto (2009) avaliando o cultivo de milho em função de doses crescentes de gesso (0, 4, 8 e 12.000 kg ha⁻¹) em Latossolo Vermelho distrófico argiloso, relataram efeitos significativos nos atributos químicos do solo (Ca, Ca/Mg, Mg, K, S), aumento na disponibilidade foliar de S e P e, incrementos na produtividade de grãos de milho com aplicação de até 7.800 kg ha⁻¹ de gesso.

Chais (2013) aplicando diferentes doses de gesso agrícola (0, 1, 2, 3, 4, 5 e 8.000 kg ha⁻¹) no cultivo de milho em Latossolo Vermelho distroférico, verificou efeitos significativos da aplicação do gesso para os teores de Ca, S e Al nas camadas de 0 a 0,60 m do solo e, aumento na produtividade de milho com a dose máxima de gesso aplicada.

Zandoná et al. (2015) também verificaram resposta significativa na produtividade de grãos de milho com aplicação de doses crescentes de gesso agrícola (0; 0,5; 1; 2; 4 e 8.000 kg ha⁻¹) associado ao calcário (2.000 kg ha⁻¹) em Latossolo Vermelho distrófico, cujos resultados foram decorrentes do aumento dos teores de Ca, Mg e P, com decréscimo da saturação por Al na camada subsuperficial.

2.5 A cultura do sorgo

O sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) quinto cereal mais produzido no mundo, é uma gramínea de origem africana que têm apresentado significância para cultivo em regiões

semiáridas do Brasil, principalmente nas áreas que sofrem escassez hídrica (NETO, 2014). É considerada uma fonte alternativa de alimentação para animais e de alta rentabilidade para agricultores, quando comparado ao milho nas mesmas condições ambientais. Isso se deve a sua fácil adaptação e resistência a ambientes quentes e secos, de pouca precipitação, onde culturas como o milho não atingem a máxima produtividade de grãos ou forragem (MOLINA et al., 2000).

Tanaka (2010) afirma que no Brasil houve incentivo ao plantio de sorgo a partir do ano de 1970, com a finalidade dessa cultura subsidiar o aumento na disponibilidade de grãos no país, que se encontrava estacionada a um nível inferior a 500 mil toneladas anuais. A autora relata que essa cultura sofreu certo preconceito por parte de pesquisadores que a viam como uma ameaça ao milho, não só a nível similar, mas, por considerá-la um perigo sob o ponto de vista fitopatológico, potencial transmissor de doenças e hospedeiro de pragas para o milho.

Nas últimas décadas as áreas cultivadas de sorgo apresentaram grande expansão territorial, observando-se que os maiores produtores estão localizados na América do Norte, sendo os Estados Unidos e o México os países de maior produção. O Brasil ocupa o 9º lugar na produção mundial, sendo o estado de Goiás líder na produção nacional (693 mil toneladas) segundo dados do 8º Levantamento da Safra Brasileira de Grãos, safra 2015/2016, seguido por Minas Gerais (479,7 mil toneladas) e por Mato Grosso (276,8 mil toneladas) (CONAB, 2016).

Considerada uma planta de clima quente, o sorgo apresenta características xerófilas e mecanismos eficientes de tolerância à seca. Possui algumas variedades que se adaptam a diferentes zonas climáticas, inclusive às de temperatura fria, observando-se para essas regiões um período com temperaturas abafadas, que permitam o desenvolvimento da cultura. Sua produtividade está intimamente relacionada a diversos fatores, tais como: interceptação de radiação pelo dossel, eficiência de translocação de produtos da fotossíntese para os grãos, eficiência metabólica, capacidade de dreno. Todavia, as relações de fonte e dreno dependem das características genéticas e das condições ambientais, promovendo adaptação das plantas a tais condições, o que proporciona respostas diferenciadas (LANDAU & SANS, 2008).

Magalhães & Durães (2003) e Santana (2013) classificam o sorgo como uma planta C4, de dias curtos e com altas taxas fotossintéticas, apresentando três etapas de crescimento: a primeira fase (EC1) vai do plantio até a iniciação da panícula; a fase seguinte (EC2) abrange a iniciação da panícula até o florescimento e; o estágio da floração à maturação fisiológica

compreende a última fase (EC3). Logo, por pertencer ao grupo C4, as plantas de sorgo suportam níveis elevados de radiação solar, correspondendo com elevadas taxas fotossintéticas, o que minimiza a abertura dos estômatos e, posteriormente, perda d'água. Assim, o aumento da intensidade luminosa propicia maior produtividade, sempre que as demais condições sejam favoráveis (LANDAU & SANS, 2008).

Segundo Leite (2006) e Conab (2016), existem quatro tipos de sorgo cultivados no Brasil, cujas diferenças entre eles são percebidas na posição entre colmos, folhas e panículas, produções de matéria seca, composição bromatológica e valor nutritivo. São eles:

- a) Granífero: sorgo de porte baixo, com grande produção de grãos e adaptado à colheita mecanizada;
- b) Forrageiro: sorgo de alta estatura, com grande produção de matéria verde, sendo utilizado principalmente para pastejo, corte verde, fenação e cobertura morta;
- c) Sacarino: sorgo de alta estatura, com colmos doces e produção mínima de grãos, mais voltado para a produção de etanol e açúcares;
- d) Vassoura: sorgo de elevada estatura podendo atingir 3 metros, cuja panícula é utilizada para a confecção de vassouras, através da palha.

Pereira et al. (1993) e Albuquerque (2009) afirmam que as variedades de sorgo produzem maiores quantidades de matéria seca ensilável quando comparadas ao milho, contudo, com significativas variações na composição química das silagens, fato este atribuído ao enorme número de variedades e/ou híbridos existentes no mercado, associado a fatores como local e época de plantio, arranjo de plantas, época de corte, entre outros.

Em relação à altura, observa-se que as plantas de sorgo podem atingir variações entre 0,40 a 4,0 m, sendo essa característica produtiva influenciada por quatro pares de genes (dw1, dw2, dw3 e dw4) que atuam de maneira independente e adicional sem afetar o número de folhas e, a duração do período de crescimento. Fatores como temperatura, déficit hídrico e deficiências nutricionais, refletem nas taxas de expansão das folhas, altura da planta e duração da área foliar. Esses efeitos podem ser modificados por mudanças na duração do dia. O déficit hídrico torna-se comumente fator responsável pela redução da área foliar, que está relacionada com a expansão das células (MAGALHÃES et al, 2008; SANTANA, 2013).

Magalhães et al. (2008) afirmam que o crescimento do sistema radicular do sorgo está relacionado com a temperatura do ar, sendo fatores limitantes a falta de umidade no solo e a disponibilidade de fotoassimilados provenientes das folhas. Assim, nota-se que um

sistema radicular eficiente contribui para o uso de água na planta e, conseqüentemente, apresenta tolerância à seca.

A escassez do conteúdo de água disponível para as culturas é condição limitante na produtividade agrícola em regiões de clima tropical. Entretanto, como existe uma variação para adaptação a essa condição entre espécies e dentro da espécie, deve-se ter o intuito de avaliar o comportamento de diferentes materiais genéticos, em condições de diferentes níveis de água no solo para a recomendação de cultivo (BLUM, 1997).

Segundo Magalhães et al. (2008), as raízes do sorgo se classificam em: primárias ou seminais, secundárias e adventícias. As raízes primárias podem ser apenas uma ou várias, de pouca ramificação, morrendo após o desenvolvimento das secundárias. As secundárias apresentam desenvolvimento no primeiro nó, são bastante ramificadas e dão origem ao sistema radicular principal. As adventícias podem aparecer nos nós acima do solo, como sinal de falta de adaptação, sendo ineficientes na absorção de água e nutrientes.

As raízes primárias do sorgo e milho ao serem comparadas apresentam a mesma massa radicular, porém, como descreve Magalhães et al. (2008), as raízes secundárias do sorgo são no mínimo o dobro daquelas encontradas no milho. Além disso, os autores destacam que o sistema radicular do sorgo é mais fibroso, extenso, com maior número de pelos absorventes, atinge profundidades de até 1,5 m e, em extensão lateral, pode alcançar 2,0 m. Ao término do crescimento das raízes antes do florescimento, a planta prioriza as partes reprodutivas (panículas) as quais apresentam maior demanda por fotoassimilados.

Em relação às necessidades hídricas, o sorgo requer menos água quando comparado às culturas de milho (370 kg de H₂O) e trigo (500 kg de H₂O), cerca de 330 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca. Para Santana (2013), a tolerância das culturas à seca é uma característica complexa, que envolve aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos. Para produzir grãos essa cultura exige cerca de 25 mm de água após o plantio, 250 mm durante o crescimento e 25 a 50 mm durante a maturidade (MAGALHÃES et al., 2008).

Como as demais culturas, o sorgo necessita de condições mínimas no solo para se desenvolver. Para Alvarenga et al. (2008), no caso da safrinha é importante manejar o solo de maneira adequada para o rápido estabelecimento da segunda safra, tendo em vista que o solo apresentará condições menos favoráveis para desenvolvimento no que se refere à umidade disponível no solo. Em adicional, orientações de Rosa (2012), sugerem que o solo apresente boa porosidade, o que facilitará o desenvolvimento das raízes e a infiltração da água.

Segundo Avelino (2008), a cultura do sorgo adapta-se a uma gama de tipos de solo. No Brasil, o sorgo é plantado desde os solos heteromórficos das regiões arrozeiras do Rio Grande do Sul, passando pelos Latossolos das regiões dos Cerrados, até os solos aluviais dos vales das regiões semi-áridas do Nordeste. A autora cita que as cultivares comerciais (importadas), não apresentaram boa adaptação a solos com acidez elevada e alumínio tóxico presente.

Todavia, Ribas (2003) afirma que os programas de melhoramento nacional já disponibilizaram cultivares com tolerância ao alumínio e à acidez do solo. Como medida corretiva para os efeitos da acidez e alumínio tóxico no solo, têm se utilizado nos sistemas de produção de sorgo a calagem. Assim, as plantas de sorgo crescem em variadas faixas de solos, tolerando variações de fertilidade e de equilíbrio de nutrientes, apresentando melhores rendimentos à medida que as condições de fertilidade sejam elevadas e equilibradas (RIBAS, 2003; AVELINO, 2008).

Para Coelho (2008), a exigência nutricional dessa cultura varia diretamente em função do potencial de produção, observando-se que a extração do nitrogênio (214 kg ha^{-1}), fósforo (26 kg ha^{-1}), potássio (140 kg ha^{-1}), cálcio (34 kg ha^{-1}) e magnésio (26 kg ha^{-1}) aumenta linearmente com o aumento na produtividade, e que a maior exigência do sorgo refere-se ao nitrogênio e potássio, seguindo-se cálcio, magnésio e fósforo.

Nesse contexto, a utilização do gesso agrícola torna-se uma ferramenta alternativa e de baixo custo quanto ao fornecimento de nutrientes no sistema solo/planta (Ca^{2+} , S-SO_4^{2-} e P) e ganhos em produtividade na cultura do sorgo, além de melhor o sistema radicular da planta, minimizando os efeitos da escassez de água em épocas de estiagem, em comparação à aplicação de calcário.

Queiroz (2005) em estudo conduzido em Latossolo Vermelho aluminoférrico de textura média, avaliou a influência de doses de gesso (0 e 1.320 kg ha^{-1}) e fósforo em cultivo de sorgo DAS 74, verificando alterações significativas nos atributos químicos do solo (Ca, P, Mg, S) e efeitos na produtividade de sorgo nos tratamentos em que se utilizou a maior dose de gesso.

Rocha (2013) avaliando diferentes doses de gesso agrícola (0, 2, 4, 6 e 8.000 kg ha^{-1}) no cultivo de sorgo sacarino em Argisolo Amarelo distrocoeso, não verificou efeitos da aplicação do gesso para as características biométricas, contudo, o autor observou aumento na produtividade e na concentração de Ca^{2+} e SO_4^{2-} nas camadas de 0 a 0,60 m e, redução na saturação de Al^{3+} na camada subsuperficial.

Em relação ao potássio, a exigência nutricional da cultura se assemelha à do milho, sendo comumente utilizada a adubação potássica no cultivo da mesma. Simili et al. (2008), avaliando doses de nitrogênio e potássio (0, 80 e 160 kg ha⁻¹ de K₂O) no cultivo de sorgo-sudão em Latossolo Vermelho distrófico de textura média, verificaram que a aplicação de potássio no solo não influenciou a massa seca da parte aérea (MSPA), a porcentagem de colmos e folhas do sorgo-Sudão. Contudo, Melo et al. (2011) verificaram aumento significativo na MSPA com aplicação de até 172 kg ha⁻¹ de potássio em cultivo de sorgo forrageiro com diferentes doses de K (50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de K₂O).

Santos et al. (2014) avaliando a adubação nitrogenada em combinação com doses de K (0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O) no cultivo de sorgo forrageiro em Latossolo Vermelho distroférico, não verificaram efeitos significativos da aplicação de K na produtividade e na massa seca total da planta.

Galvão et al. (2015) em experimento conduzido em Latossolo Amarelo distrófico, avaliaram diferentes doses de K (50, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹ de K₂O) no cultivo de sorgo forrageiro, verificando que a adubação potássica influenciou na MSPA, nos teores foliares de K, Ca e Mg.

CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo apresenta a área experimental, as culturas utilizadas para o desenvolvimento deste estudo, com seus respectivos delineamentos experimentais, as características avaliadas para cada cultura, bem como a análise estatística empregada.

3.1 Doses de gesso e potássio no cultivo da cultura da couve-flor

3.1.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido na área experimental do Setor de Olericultura, na fazenda experimental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberaba, localizado no município de Uberaba, MG, a 800 m de altitude, com latitude de 19°39'19"S e longitude de 47°57'27"W. O clima do local, baseado na classificação internacional de Köppen (OMETTO, 1981) é do tipo Aw, ou seja, tropical quente úmido, com inverno frio e seco. A precipitação e temperatura médias durante o cultivo da couve-flor foram de 672,68 mm e 23,82°C (Figura 3.1), respectivamente.

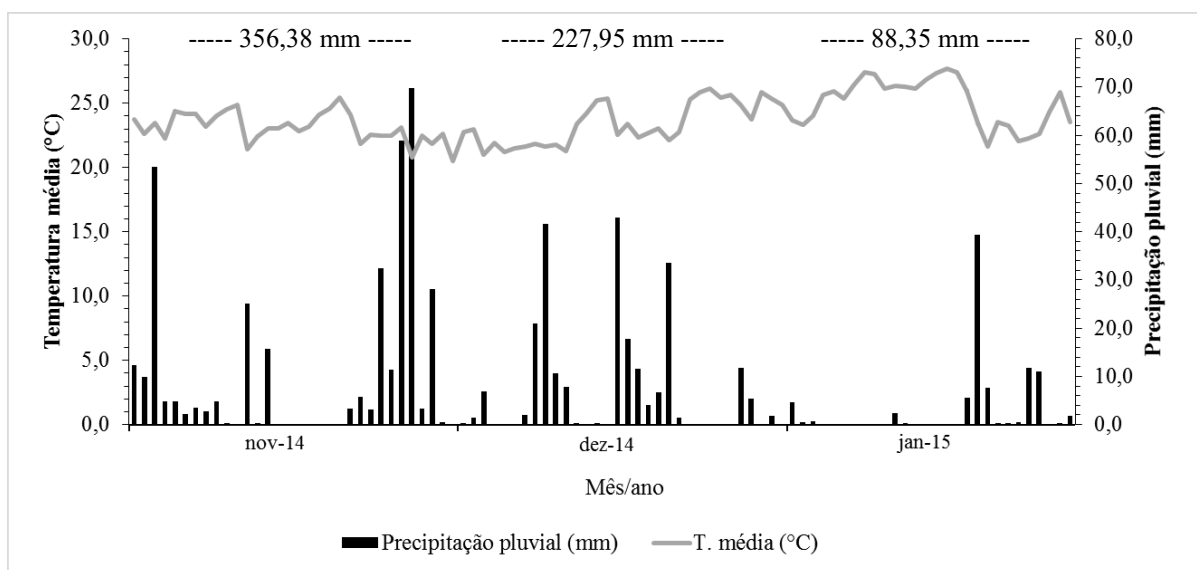


Figura 3.1. Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante o cultivo da couve-flor (Uberaba, MG, 2014/2015).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura média (argila = 21%) (EMBRAPA, 2013). Para avaliar sua fertilidade, antes da instalação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, cujos atributos químicos foram analisados no Laboratório de Análises de Solo e

Foliar da Fundação de Ensino Superior de Passos, seguindo a metodologia descrita por Raij et al. (2001).

Na camada de 0-0,20 m verificou-se os seguintes atributos: pH (CaCl_2) = 4,66; MO = 36,33 g dm^{-3} ; P (resina) = 47,67 g dm^{-3} ; H + Al = 33,67 mmol_c dm^{-3} ; Al = 3,87 mmol_c dm^{-3} ; Ca = 9,03 mmol_c dm^{-3} ; K = 3,53 mmol_c dm^{-3} ; Mg = 2,18 mmol_c dm^{-3} ; SB = 14,76 mmol_c dm^{-3} ; CTC = 48,43 mmol_c dm^{-3} ; V = 30,48%; S-SO₄ (fosfato/cálcio) = 10,09 mg dm^{-3} ; B = 0,18 mg dm^{-3} ; Cu (DPTA) = 4,55 mg dm^{-3} ; Fe (DPTA) = 26,07 mg dm^{-3} ; Mn (DPTA) = 27,78 mg dm^{-3} ; Zn (DPTA) = 3,29 mg dm^{-3} ; Relações: Ca/Mg = 4,22; Ca/K = 2,57; Mg/K = 0,62.

Para a camada de 0,20-0,40 m a análise química apresentou as seguintes características: pH (CaCl_2) = 4,86; MO = 19,33 g dm^{-3} ; P (resina) = 32,33 g dm^{-3} ; H + Al = 26,67 mmol_c dm^{-3} ; Al = 2,60 mmol_c dm^{-3} ; Ca = 8,90 mmol_c dm^{-3} ; K = 2,12 mmol_c dm^{-3} ; Mg = 2,65 mmol_c dm^{-3} ; SB = 18,65 mmol_c dm^{-3} ; CTC = 45,32 mmol_c dm^{-3} ; V = 40,78%; S-SO₄ (fosfato/cálcio) = 18,53 mg dm^{-3} ; B (água/quente) = 0,18 mg dm^{-3} ; Cu (DPTA) = 3,61 mg dm^{-3} ; Fe (DPTA) = 25,12 mg dm^{-3} ; Mn (DPTA) = 17,69 mg dm^{-3} ; Zn (DPTA) = 1,89 mg dm^{-3} ; Relações: Ca/Mg = 1,52; Ca/K = 4,25; Mg/K = 3,48.

Com base na análise química do solo, realizou-se calagem na área experimental, para elevar a saturação por bases a 70%, conforme recomendado pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – 5ª Aproximação para a cultura de couve-flor (FONTES, 1999). Na calagem, utilizou-se calcário calcinado (PRNT = 120), aplicado a lanço na dose de 1.600 kg ha^{-1} , sendo posteriormente incorporado no solo, na camada de 0-0,20 m de profundidade.

3.1.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em esquema fatorial 5x5, sendo cinco doses de gesso (0, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 kg ha^{-1}) e cinco doses de potássio (0, 100, 180, 240 e 360 kg ha^{-1}) de K₂O no delineamento em blocos completos casualizados, com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída de 12 plantas, dispostas em canteiros, no espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,50 m entre plantas. Como parcela útil, consideraram-se as oito plantas centrais de cada parcela.

O gesso aplicado ao solo apresentava a seguinte composição química, conforme laudo técnico fornecido pela empresa Agronelli Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários Ltda: Ca = 18%, S = 15%.

3.1.3 Condução do experimento

A área experimental foi preparada por meio de aração, gradagem e levantamento dos canteiros. Os canteiros foram levantados com rotoencanteirador tratorizado, apresentando, posteriormente, 1,1 metro de largura e altura de 0,2 metros. Todo o gesso foi aplicado manualmente na área total das parcelas, de acordo com cada tratamento, sem realização de incorporação. Já para a incorporação dos fertilizantes (N, P, K), foram feitos em cada canteiro, dois sulcos para a aplicação dos fertilizantes, com posterior incorporação dos mesmos (Figura 3.2).

De acordo com os resultados da análise de solo e as recomendações de Fontes (1999) para a cultura da couve-flor, na adubação de plantio, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se como fonte o superfosfato simples; e, 20% de cada uma das doses de K₂O; e, 20% da dose recomendada de 150 kg ha⁻¹ de N, utilizando-se como fonte cloreto de potássio e ureia, respectivamente. As adubações de cobertura foram realizadas aplicando-se o nitrogênio e as doses de K da seguinte forma: 20% na primeira cobertura, aos 15 dias após o transplante (DAT); 30% na segunda adubação de cobertura, aos 30 DAT; e, 30% na terceira adubação de cobertura, aos 45 DAT.

Neste estudo foi utilizada a cultivar “Sharon” que apresenta resistência à podridão negra, inflorescência de granulação média e de coloração branca, peso médio entre 0,9 a 1,2 kg, com ciclo de 90 a 100 dias, adaptada para o cultivo no fim da primavera/ verão (MAY et al., 2007). As mudas da cultivar Sharon foram produzidas em bandejas de 128 células, preenchidas com substrato comercial Bioplant®, sob estufa, recebendo de quatro a cinco irrigações ao dia, sendo transplantadas para o local definitivo de cultivo em 05/11/2014 (Figura 3.2), aos 34 dias após a semeadura, quando apresentavam de quatro a cinco folhas definitivas.

Foram realizadas três adubações foliares com boro e molibdênio nas seguintes etapas: durante a fase de mudas (20 dias após a semeadura) e, aos 15 e 30 dias após o transplante, utilizando-se a concentração de 1 g L⁻¹ de B e de 0,5 g L⁻¹ de Mo, segundo Raij et al. (1997), utilizando-se como fontes de B e Mo, respectivamente, o ácido bórico e molibdato de amônio. Devido à alta cerosidade das folhas, foi realizado o acréscimo de espalhante adesivo na calda, para maior eficiência da operação, na dose recomendada pelo fabricante.

Para o controle de pragas e doenças foram utilizados inseticidas e fungicidas recomendados para a cultura, observando-se a dose recomendada pelo fabricante em função

da ocorrência do agente, inseto ou patógeno na área experimental. Por meio de capina manual realizou-se o controle de plantas invasoras durante todo o ciclo da cultura. Como forma de irrigação da área cultivada, adotou-se o sistema de aspersão convencional em complementação às precipitações, durante todo o ciclo da planta, mantendo-se o solo próximo à capacidade de campo.



Figura 3.2. Adubação de plantio (A), couve-flor 15 dias após o transplante (B), couve-flor 25 dias após o transplante (C), couve-flor 65 dias após o transplante (D).

3.1.4 Avaliações

3.1.4.1 - Atributos químicos do solo

A coleta de amostras de solo foi realizada após a colheita das cabeças de couve-flor. Aleatoriamente, foram coletados quinze pontos em cada uma das parcelas, utilizando-se amostrador motorizado. Retiraram-se amostras nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, e colocadas para secagem em temperatura ambiente. Posteriormente, avaliaram-se os teores de P, K, Ca, Mg, Al, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Soma de Bases (SB), Saturação das Bases (V%), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) calculada, acidez potencial (H + Al) e, relações entre Mg/K, Ca/Mg, Ca/K no Laboratório de Análises de Solo e Foliar da Fundação de Ensino Superior de Passos, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001).

3.1.4.2 – Avaliação do estado nutricional das plantas de couve-flor

Para análise do estado nutricional das plantas, foram coletadas 10 folhas recém-maduras de cada parcela, no início da formação das inflorescências (RAIJ et al., 1997). O material colhido foi lavado com detergente neutro em água corrente e enxaguado sete vezes com água deionizada. Após se retirar o excesso de água, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados e, posteriormente, colocadas para secagem em estufa a 65°C com circulação forçada de ar. Em seguida, as amostras foram moídas utilizando-se moinho tipo Willey, armazenando-se o material coletado em saco plástico após passar por peneira de malha de 20 mesh, para posterior análise química.

No Laboratório de Análises de Solo e Foliar da Fundação de Ensino Superior de Passos, foram determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, S, Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) foliares, conforme metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

3.1.4.3 - Características biométricas e produtivas

A colheita das cabeças da couve-flor foi iniciada em 10 de janeiro de 2015, quando as inflorescências apresentavam-se totalmente desenvolvidas, com os botões florais ainda unidos (cabeça compacta e ainda firme), realizando-se o corte no pedúnculo da planta, deixando-se algumas folhas para a proteção da cabeça durante o transporte até o laboratório, as quais foram removidas antes da pesagem. No laboratório avaliaram-se as seguintes características:

a) Massa comercial da cabeça – MCC:

A massa comercial da cabeça foi obtida com auxílio de balança digital após as folhas externas serem retiradas, sendo a massa expressa em quilogramas;

b) Diâmetro da cabeça – DC

O diâmetro da cabeça foi obtido pela medida da distância entre suas extremidades utilizando-se régua graduada em cm, cujos valores foram expressos em centímetros;

c) Diâmetro do pedúnculo – DP

Para esta medida foi realizado primeiramente um corte transversal na base do pedúnculo, obtendo-se os valores (cm) com auxílio de régua graduada.

d) Altura da cabeça – AC

Apoiando-se o pedúnculo à superfície plana da bancada do laboratório, mediu-se com régua graduada (cm) a distância entre a superfície da bancada e o ponto mais alto da inflorescência.

3.2 Doses de gesso e potássio no cultivo de milho verde e grãos de milho

3.2.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi conduzido em Latossolo Vermelho Distrófico, com textura média (argila = 15%) (EMBRAPA, 2013), na Fazenda Experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberaba, localizado no município de Uberaba, MG, a 19°71'50"S de latitude e 47°93'45"W de longitude, a 800 metros de altitude. O clima do local segundo a classificação de Köppen (OMETTO, 1981) é do tipo Aw, ou seja, tropical com inverno seco. A temperatura média e precipitação durante o cultivo de milho verde e em grãos foram de 21,17°C e 1.053,36 mm (Figura 3.3), respectivamente.

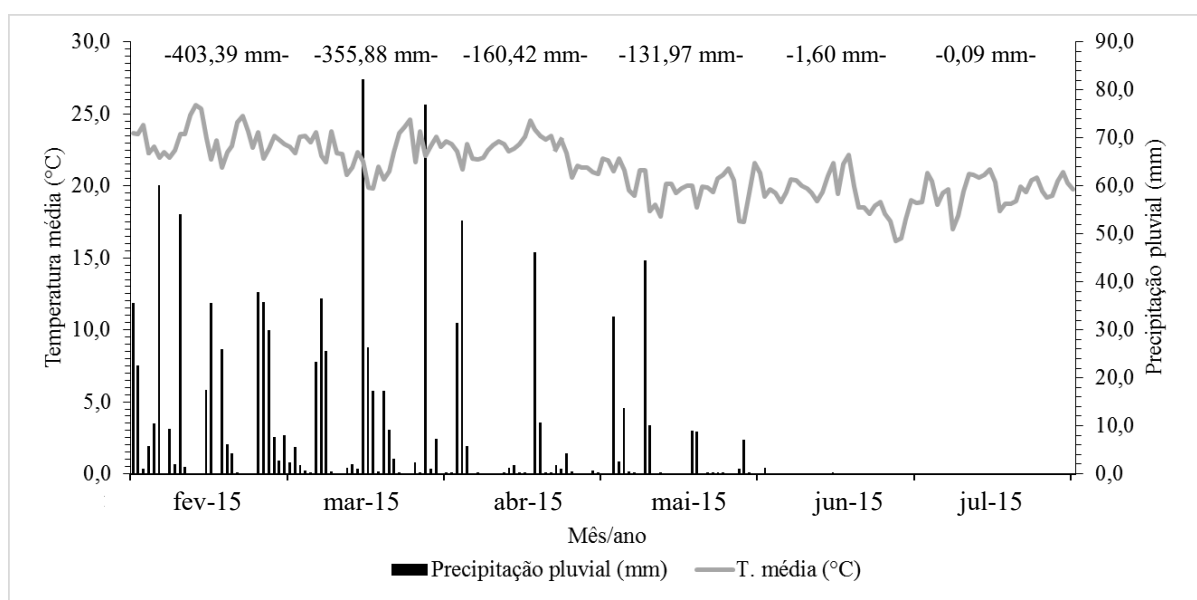


Figura 3.3. Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante o cultivo de milho verde e em grãos (Uberaba, MG, 2015).

Para a instalação do experimento foi realizada amostragem do solo na camada de 0-0,20 m, cujas características químicas foram analisadas pelo Laboratório de Análise de Solo da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, em Uberaba, MG. Obtiveram-se os seguintes resultados: pH (H₂O) = 5,9; MO = 12 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 13,9 mg dm⁻³; H + Al = 19,0 mmol_c dm⁻³; Al = 0 mmol_c dm⁻³; Ca = 13,0 mmol_c dm⁻³; K = 64 mg dm⁻³; Mg = 4,0 mmol_c dm⁻³; SB = 19,0 mmol_c dm⁻³; CTC = 38,0 mmol_c dm⁻³; V = 49,5%; Relações: Ca/Mg = 3,25; Ca/K = 7,94; Mg/K = 2,44.

Na profundidade de 0,20-0,40 m verificou-se: pH (H₂O) = 5,8; MO = 10 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 1,8 mg dm⁻³; H + Al = 17,0 mmol_c dm⁻³; Al = 0 mmol_c dm⁻³;

Ca = 11,0 mmol_c dm⁻³; K = 62 mg dm⁻³; Mg = 3,0 mmol_c dm⁻³; SB = 16,0 mmol_c dm⁻³; CTC = 33,0 mmol_c dm⁻³; V = 47,8%; Relações: Ca/Mg = 3,67; Ca/K = 6,94; Mg/K = 1,89. Não se realizou a calagem antes da implantação do experimento, visto que, a dose recomendada de calcário seria inferior a 1 Mg ha⁻¹ de calcário por hectare.

3.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em esquema fatorial 5x5, sendo cinco doses de gesso (0, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 kg ha⁻¹) e cinco doses de potássio (0, 100, 180, 240 e 360 kg ha⁻¹) de K₂O no delineamento em blocos completos casualizados, com quatro repetições. O experimento foi conduzido em parcelas de sete metros de comprimento x seis metros de largura, com oito linhas de semeadura espaçadas a 0,50 m. Como bordadura, consideraram-se 0,50 m das extremidades e as duas linhas das extremidades laterais de cada parcela. O gesso aplicado ao solo apresentava a seguinte composição química, conforme laudo técnico fornecido pela empresa Agronelli Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários Ltda: Ca = 18%, S = 15%.

3.2.3 Condução do experimento

A área experimental foi preparada por meio de gradagem do solo e nivelamento com grade niveladora. Todo o gesso e potássio, foi aplicado na área total das parcelas, em pré-semeadura, sendo incorporadas, posteriormente, por gradagem a 0,10 m de profundidade.

A adubação de semeadura foi constituída de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo utilizado superfosfato triplo como fonte, e, 20 kg ha⁻¹ de N (ureia), ambos aplicados no sulco de semeadura. A semeadura do milho foi realizada no dia 23/02/2015, utilizando-se semeadora tratorizada com espaçamento de 0,50 m entre linhas, caracterizando 60.000 plantas por hectare.

Para o cultivo de milho verde e grãos (Figura 3.4), utilizou-se a cultivar AG-1051 de ciclo semiprecoce, de porte e inserção de espiga alta, excelente sistema radicular, com boa qualidade de colmo, excelente empalhamento, saty green bom e grãos amarelo (AGROCERES, 2016).

Na adubação de cobertura, utilizaram-se 140 kg ha⁻¹ de N (ureia), aplicando-se o nitrogênio ao lado das linhas da seguinte forma: 50% na primeira cobertura, aos 15 dias após a semeadura e 50% na segunda adubação de cobertura. Em função da ocorrência de precipitações pluviométricas, não foi necessário realizar irrigação na área cultivada.

O manejo da área cultivada após a emergência das plantas, envolveu práticas de controle de plantas daninhas e controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) com, respectivamente, herbicida e inseticida, recomendados para a cultura.



Figura 3.4. Cultivo de milho verde e grãos de milho 90 dias após a semeadura.

3.2.4 Avaliações

3.2.4.1 Atributos químicos do solo

A coleta de amostras de solo para determinação das características químicas ocorreu logo após a colheita do milho em grãos, ou seja, após 21 de julho de 2015. Aleatoriamente, foram coletados quinze pontos em cada uma das parcelas, utilizando-se amostrador motorizado. Retiraram-se amostras nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, e colocadas para secagem em temperatura ambiente. Posteriormente, avaliaram-se os teores de P, K, Ca, Mg, Al, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Soma de Bases (SB), Saturação das Bases (V%), Capacidade de Troca Catiónica (CTC), H + Al e, relações entre Mg/K, Ca/Mg, Ca/K no Laboratório de Análises de Solo e Foliar da Fundação de Ensino Superior de Passos, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001).

3.2.4.2 Estado nutricional das plantas de milho verde

Para análise do estado nutricional das plantas de milho, foram coletadas 25 folhas de cada parcela no início do pendoamento, ou seja, quando a área total cultivada apresentava-se 50% pendoada, coletando-se o terço médio da folha da base da espiga, conforme metodologia descrita por Raij et al. (1997). O material colhido foi lavado com detergente neutro em água corrente e enxaguado sete vezes com água deionizada. Após retirar o excesso de água, as

amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados e, posteriormente, colocadas para secagem em estufa a 65°C, com circulação forçada de ar. Em seguida, as amostras foram moídas utilizando-se moinho tipo Willey, armazenando-se o material coletado em saco plástico, após passar por peneira de malha de 20 mesh, para posterior análise química.

No Laboratório de Análises de Solo e Foliar da Fundação de Ensino Superior de Passos, foram determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, S, Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) foliares, conforme metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

3.2.4.3 Características biométricas e produtivas do milho verde e grãos de milho

A avaliação das características biométricas do milho verde ocorreu entre os dias 30/05 a 01/06/2015, aos 97, 98 e 99 dias após a emergência das plantas, avaliando-se:

a) Altura da planta (AP) e diâmetro do colmo (DC)

A determinação da altura média das plantas (cm) foi obtida com auxílio de régua graduada de madeira, medindo-se a distância entre a superfície do solo até a folha bandeira. O diâmetro do colmo (cm) foi obtido com uso de paquímetro, considerando-se para essa característica, a medida central do segundo internódio do colmo acima do nível do solo.

b) Diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE)

O diâmetro médio da espiga (mm) foi obtido no terço médio de cada espiga sem palha, utilizando-se paquímetro digital. Para determinar o comprimento da espiga (cm) foi utilizada régua graduada, medindo-se desde a extremidade da base até a ponta da espiga.

c) Massa fresca da planta (MFP), massa da espiga com palha (MECP) e massa da espiga despalhada (MED)

Para avaliar a massa média fresca da planta (kg), efetuou-se o corte manual das plantas rente ao solo, realizando-se a pesagem das plantas + espigas com auxílio de balança digital em campo. Posteriormente, coletaram-se as espigas, procedendo-se a pesagem das mesmas com palha e despalhadas (g) com balança digital.

d) Produtividade de biomassa (PB)

A produtividade média estimada de biomassa de milho verde foi obtida por meio da relação entre massa média de cada planta e a população de plantas de milho (60.000 plantas ha⁻¹), cujos resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

e) Produtividade de espigas (PE)

A produtividade média estimada de espigas de milho verde foi obtida por meio da relação entre massa média de cada espiga com palha e a população de plantas de milho (60.000 plantas por hectare), cujos resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

f) Sólidos solúveis totais (SST)

O teor de Sólidos solúveis totais (°Brix) nos grãos de milho verde, foi determinado em triplicada para cada parcela. Os grãos foram cortados com auxílio de faca de aço inoxidável, triturados em liquidificador e, posteriormente, filtrados com auxílio de tecido de algodão. Com uma pipeta de Pasteur, retirou-se uma alíquota do filtrado, a qual foi submetida a refratômetro digital com correção de temperatura à 20°C para obtenção do teor de SST (°Brix).

A avaliação das características biométricas e produtivas de grãos de milho, ocorreu entre os dias 20/07 e 21/07/2015, avaliando-se:

g) Massa da espiga seca com palha (MESSCP) e massa da espiga seca despalhada (MESD)

As espigas foram colhidas manualmente, e em seguida procedeu-se a pesagem das espigas com palha e, posteriormente, despalhadas, com auxílio de balança digital.

h) Massa do sabugo (MS) e massa dos grãos da espiga (MGE)

As massas médias do sabugo e de grãos da espiga, foram obtidas após realizar o debulhamento das espigas despalhadas em debulhadora de milho, subtraindo-se da massa da espiga despalhada a massa de grãos.

i) Produtividade de grãos (PG)

A produtividade média de grãos foi determinada por meio da relação entre massa média de grãos de cada espiga e a população de plantas de milho (60.000 plantas ha⁻¹), cujos resultados foram expressos em kg ha⁻¹.

3.3 Doses de gesso e potássio no cultivo de sorgo granífero para silagem e grãos

3.3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), *Campus* Uberaba, localizado no município de Uberaba-MG (19°71'50"S latitude, 47°93'45"W longitude e, 800 metros de altitude) em área da Fazenda Experimental do IFTM. O clima da localidade segundo Köppen (OMETTO, 1981), é do tipo Aw, tropical com inverno seco. A temperatura e precipitação médias durante o cultivo de sorgo para silagem e grãos foram de 21,17°C e 1.053,36 mm (Figura 3.5), respectivamente. O

solo da área experimental pertence à classe Latossolo Vermelho distrófico, com textura média (argila = 15%) (EMBRAPA, 2013).

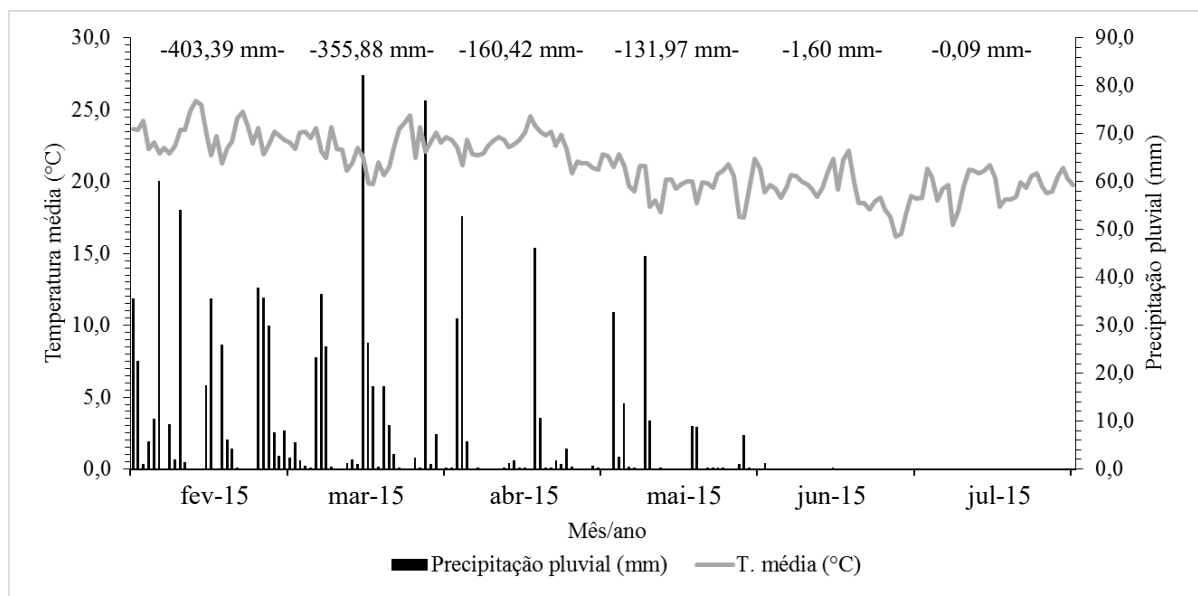


Figura 3.5. Precipitação pluvial (mm) e temperatura média (°C) registradas durante o cultivo de sorgo para silagem e grãos (Uberaba, MG, 2015).

Para avaliar a fertilidade inicial do solo, foram coletadas amostras na camada de 0-0,20 m do solo, encaminhando-as, posteriormente, para o Laboratório de Análise de Solo da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, em Uberaba, MG, para determinação dos atributos químicos, cujos resultados obtidos foram: pH (H₂O) = 5,9; MO = 12,0 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 13,9 mg dm⁻³; H + Al = 19,0 mmol_c dm⁻³; Al = 0 mmol_c dm⁻³; Ca = 13,0 mmol_c dm⁻³; K = 64 mg dm⁻³; Mg = 4,0 mmol_c dm⁻³; SB = 19,0 mmol_c dm⁻³; CTC = 38,0 mmol_c dm⁻³; V = 49,5%; Relações: Ca/Mg = 3,25; Ca/K = 7,94; Mg/K = 2,44.

Na profundidade de 0,20-0,40 m verificou-se: pH (H₂O) = 5,8; MO = 10,0 g kg⁻¹; P (Mehlich-1) = 1,8 mg dm⁻³; H + Al = 17,0 mmol_c dm⁻³; Al = 0 mmol_c dm⁻³; Ca = 11,0 mmol_c dm⁻³; K = 62 mg dm⁻³; Mg = 3,0 mmol_c dm⁻³; SB = 16,0 mmol_c dm⁻³; CTC = 33,0 mmol_c dm⁻³; V = 47,8%; Relações: Ca/Mg = 3,67; Ca/K = 6,94; Mg/K = 1,89. Não se realizou a calagem antes da implantação do experimento, visto que, a dose recomendada de calcário seria inferior a 1 Mg ha⁻¹ de calcário por hectare.

3.3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi instalado em esquema fatorial 5x5, sendo cinco doses de gesso (0, 500, 1.000, 2.000 e 4.000 kg ha⁻¹) e cinco doses de potássio (0, 100, 180, 240 e

360 kg ha⁻¹) de K₂O no delineamento em blocos completos casualizados, com quatro repetições. O experimento foi conduzido em parcelas de sete metros de comprimento x seis metros de largura, com oito linhas de semeadura espaçadas a 0,50 m. Como bordadura, consideraram-se 0,50 m das extremidades de cada parcela, e, as duas linhas da extremidade lateral de cada parcela.

O gesso aplicado ao solo apresentava a seguinte composição química, conforme laudo técnico fornecido pela empresa Agronelli Indústria e Comércio de Insumos Agropecuários Ltda: Ca = 18%, S = 15%.

3.3.3 Condução do experimento

Após demarcação da área experimental foi realizada gradagem do solo com grade aradora e niveladora, respectivamente. Todo o gesso e potássio, ou seja, 100 % destes, foram aplicados na área total das parcelas, em pré-semeadura, sendo incorporadas, posteriormente, por gradagem.

A adubação de semeadura foi constituída de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo utilizado o superfosfato triplo como fonte, e, 20 kg ha⁻¹ de N (ureia), ambos aplicados no sulco de semeadura. A semeadura do sorgo foi realizada no dia 23/02/2015, utilizando-se semeadora tratorizada com espaçamento de 0,50 m entre linhas, caracterizando 120.000 plantas por hectare.

Para o cultivo de sorgo para silagem e produção de grãos (Figura 3.6), utilizou-se a cultivar Volumax de ciclo semiprecoce, de porte alto, com sistema radicular profundo e agressivo e de colmos fortes e resistentes ao tombamento (AGROCERES, 2016).

Na adubação de cobertura, utilizou-se 140 kg ha⁻¹ de N, aplicando-se o nitrogênio ao lado das linhas da seguinte forma: 50% na primeira cobertura, aos 15 dias após a semeadura; 50% na segunda adubação de cobertura. Em função da ocorrência de precipitações pluviométricas, não foi necessário realizar irrigação na área cultivada.

O manejo da área cultivada após a emergência das plantas, envolveu práticas de controle de plantas daninhas e controle da lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) com herbicida e inseticida, recomendados para a cultura, respectivamente.



Figura 3.6. Cultivo de sorgo aos 45 (A) e 90 (B) dias após a semeadura.

3.3.4 Avaliações

3.3.4.1 Atributos químicos do solo

A coleta de amostras de solo para determinação das características químicas ocorreu logo após a colheita das panículas, ou seja, após 20 de julho de 2015. Aleatoriamente, foram coletados quinze pontos em cada uma das parcelas, utilizando-se amostrador motorizado. Retiraram-se amostras nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, e colocadas para secagem em temperatura ambiente. Posteriormente, avaliaram-se os teores de P, K, Ca, Mg, Al, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Soma de Bases (SB), Saturação das Bases (V%), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), H + Al e, relações entre Mg/K, Ca/Mg, Ca/K no Laboratório de Análises de Solo e Foliar da Fundação de Ensino Superior de Passos, conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001).

3.3.4.2 Estado nutricional das plantas de sorgo para silagem

Para avaliar o estado nutricional das plantas de sorgo, foram coletadas 30 folhas de cada parcela no início do florescimento, retirando-se a quarta folha cortada do ápice para a base da planta, ou folha +4, conforme metodologia descrita por Raij et al. (1997). O material colhido foi lavado com detergente neutro em água corrente e enxaguado sete vezes com água deionizada. Após se retirar o excesso de água, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel identificados e, posteriormente, colocadas para secagem em estufa a 65°C, com circulação forçada de ar. Em seguida, as amostras foram moídas utilizando-se moinho tipo Willey, armazenando-se o material coletado em saco plástico, após passar por peneira de malha de 20 mesh, para posterior análise química.

No Laboratório de Análises de Solo e Foliar da Fundação de Ensino Superior de Passos, foram determinados os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, S, Mg) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn) foliares, conforme metodologia descrita por Bataglia et al. (1983).

3.3.4.3 Características biométricas e produtivas do sorgo para silagem e grãos

A avaliação das características produtivas e biométricas das plantas de sorgo para silagem ocorreram entre os dias 28/05 e 29/05/2015, nas quais avaliou-se:

a) Massa da planta (MP)

A massa média da planta foi obtida pela relação entre a pesagem total das plantas colhidas na parcela, com auxílio de balança digital, pelo número total de plantas, sendo os resultados expressos em gramas.

b) Massa da panícula (MPN)

A massa média da panícula foi determinada pela relação entre a massa total de panículas colhidas na parcela, obtida com auxílio de balança digital, pelo número total de panículas, expressando-se os resultados em gramas.

c) Altura da planta (AP)

A altura média da planta (cm) foi determinada com auxílio de régua graduada de madeira, medindo-se do nível do solo até o colar da folha bandeira, em dez plantas aleatoriamente na parcela.

d) Diâmetro do colmo (DC)

O diâmetro médio do colmo (mm) foi obtido com auxílio de paquímetro digital, medindo-se a região mediada do segundo internódio acima da superfície do solo de dez plantas aleatórias na parcela.

e) Produtividade de biomassa fresca (PBF)

A produtividade estimada de biomassa fresca foi obtida pela relação entre a massa média da planta e o número total de plantas por hectare (120.000 plantas por hectare), cujos valores foram expressos em kg ha^{-1} .

No dia 20 de julho de 2015 realizaram-se as avaliações das características produtivas e biométricas das plantas de sorgo para a produção de grãos, nas quais determinou-se:

f) Massa média da panícula no ponto de colheita de grãos (MMPPCG)

As panículas foram colhidas manualmente, e em seguida a massa média da panícula (gramas por planta) foi obtida pela relação entre a massa total de panículas colhidas na parcela, com auxílio de balança digital, pelo número total de panículas,

g) Massa média de grãos por planta (MMGPP)

A massa média de grãos foi obtida pela relação entre a massa de grãos total da parcela, obtida após realizar a debulha das panículas utilizando trilhadora de grãos, pelo número total de panículas da parcela, sendo os resultados expressos em grama.

h) Produtividade de grãos (PG)

A produtividade estimada de grãos foi verificada pela relação entre a massa média de grãos e o número total de plantas por hectare (120.000 plantas por hectare), cujos valores foram expressos em kg ha^{-1} .

3.4 Análise de metais pesados no gesso agrícola

Para verificar os riscos de contaminação ambiental no solo, pela adição direta de metais pesados presentes no gesso agrícola utilizado neste estudo, foram determinados os teores de cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr) e níquel (Ni) no Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas (LABRAS) em Monte Carmelo-MG, seguindo a metodologia descrita no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (2014) estabelecido pelo Ministério da Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

3.5 Análise dos dados

Para a análise de dados, os fatores avaliados foram submetidos à análise de variância – ANOVA - pelo teste de F ($\alpha = 0,05$), e quando houve diferenças significativas entre os tratamentos, foi utilizada a análise de regressão múltipla, a qual é empregada para prever uma resposta quantitativa quando se tem múltiplas variáveis explicativas.

Consideraram-se como variáveis respostas, cada uma das características avaliadas e, como variáveis explicativas, ou preditores, os efeitos lineares, os efeitos quadráticos e o efeito da interação – G , K , G^2 , K^2 , GK – das doses de gesso (G) e potássio (K). O intuito dessa análise, é que para cada uma das variáveis respostas seja ajustado um modelo de regressão a fim de explicar o seu comportamento em função das variáveis explicativas.

Para seleção do modelo de regressão foram obtidos os melhores modelos para cada um dos tamanhos possíveis do modelo – 1, 2, 3, 4 e 5 –, de acordo com o método backward stepwise selection (James et al., 2013). Esse método fornece uma eficiente alternativa para seleção dos melhores subconjuntos de variáveis em uma análise de regressão.

O método começa com todos os “ p ” preditores, no modelo, e, sequencialmente, deleta os preditores com menor impacto no modelo, um por vez. Assim, o “impacto” do preditor é medido pela soma de quadrados de resíduos. Menores valores para a soma de quadrados de resíduos estão associados a uma maior importância do preditor.

Após a seleção do melhor modelo via backward stepwise selection, foi feito o teste t para os coeficientes do modelo a fim de verificar se estes eram significativos. Vale ressaltar que um modelo deve ter todos os coeficientes significativos para que este seja um modelo explicativo.

Adicionalmente, foi obtido o critério de informação bayesiano (BIC), que é uma medida da qualidade de ajuste do modelo, para cada um dos modelos e em cada uma das variáveis respostas. Adotaram-se como melhores modelos aqueles com baixo valor para o BIC. Para a escolha do melhor modelo levou-se em consideração a parcimônia, ou seja, foram escolhidos modelos explicativos, com boa qualidade de ajuste e o mais simples possível. Para os modelos que foram significativos foi plotado o referido modelo ajustado. Todas as análises foram feitas por meio do software R (R Core Team, 2014) utilizando os pacotes MASS, LEAPS, EXPDES.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são apresentados em itens, os resultados verificados para os atributos químicos do solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, estado nutricional das plantas, características biométricas e produtivas das culturas da couve-flor, milho e sorgo, respectivamente, bem como, discussão pertinente para cada efeito observado nas culturas citadas, em função da aplicação das doses de gesso e potássio. Em adicional, são apresentados a análise de variância, os modelos ajustados para cada variável quando houve significância ($p < 0,05$), e, os resultados para a análise de metais pesados em amostra de gesso agrícola utilizada no presente estudo.

4.1 Atributos químicos do solo, estado nutricional e características biométricas e produtivas da cultura da couve-flor

Na Tabela 4.1 é apresentado o resumo da análise de variância e na Tabela 4.3 os modelos ajustados e selecionados para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m após o final do ciclo da cultura da couve-flor, nas quais, verifica-se efeitos significativos do gesso para os teores Ca, S, B e nos valores da soma de bases (SB); efeitos significativos apenas das doses de potássio para os atributos químicos K, H+Al e na relação Mg/K; e, interação significativa entre os fatores avaliados para a saturação por bases (V%).

Em relação à amostragem de solo realizada na profundidade de 0,20-0,40 m após o cultivo da couve-flor (Tabela 4.2), foram observados efeitos significativos do gesso para os teores de Ca e S e, na relação Ca/Mg; efeitos significativos das doses de potássio para os atributos K, pH, Al, H+Al, CTC e na relação Mg/K; e, interação significativa entre os fatores avaliados para a saturação por bases (V%), cujos modelos são apresentados na Tabela 4.3.

Os teores de matéria orgânica (MO) nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo não foram influenciados significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio. Os teores médios de MO no solo verificados nas referidas camadas (Tabelas 4.1 e 4.2) foram de 21,33 e 19,24 g dm⁻³, respectivamente.

O valor de pH (CaCl₂) na camada de 0-0,20 m não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio, apresentando valor médio de 4,74 (Tabelas 4.1). Segundo Maschietto (2009), o gesso não possui capacidade de consumir prótons H⁺ e aumentar o pH do solo, pois uma vez dissociado nos íons Ca²⁺ e SO₄²⁻, terá apenas a função de fornecer cálcio e enxofre ao solo.

Tabela 4.1. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m do solo após o cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.

G	M.O	pH	P _{resina}	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
(kg ha ⁻¹)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³	mmolc dm ⁻³						%		mg dm ⁻³								
0	21,93	4,67	40,53	2,38	13,63	2,79	3,50	34,40	18,80	53,20	35,57	35,40	0,25	2,42	29,18	32,44	2,55	5,31	6,29	1,32
500	21,33	4,71	41,93	2,15	14,66	2,46	3,40	34,12	19,30	53,12	35,87	47,47	0,23	2,28	29,55	32,26	2,49	7,33	7,53	1,18
1000	22,07	4,73	42,27	2,33	17,07	2,63	3,24	34,50	20,76	56,51	39,04	51,92	0,26	2,52	29,49	34,77	2,75	8,34	8,29	1,14
2000	20,67	4,84	43,60	2,19	15,13	2,51	2,90	33,60	20,22	53,36	36,99	61,12	0,21	2,64	30,16	34,00	2,79	6,74	7,94	1,41
4000	20,93	4,73	37,67	2,04	18,29	2,45	2,90	33,87	22,04	56,88	40,91	56,00	0,24	2,52	29,28	31,88	2,35	7,30	10,80	1,62
K																				
(kg ha ⁻¹)																				
0	21,33	4,66	40,07	1,28	14,68	2,59	3,88	33,53	18,52	52,05	35,14	51,18	0,25	2,42	28,25	32,33	2,33	6,45	11,90	2,07
100	20,81	4,78	38,47	2,20	15,16	2,41	3,13	31,60	19,77	51,37	38,31	47,70	0,23	2,40	29,67	32,43	2,63	6,88	8,06	1,37
180	22,00	4,66	43,60	2,13	15,44	2,51	3,27	39,66	20,92	60,58	35,13	48,00	0,25	2,64	31,13	34,22	3,00	7,29	8,21	1,23
240	21,93	4,78	41,47	2,36	15,34	2,79	3,21	34,09	21,04	55,70	39,27	51,64	0,23	2,49	29,75	33,95	2,40	6,84	7,21	1,24
360	21,07	4,74	42,40	3,11	15,04	2,22	3,24	31,60	20,83	53,35	40,48	53,39	0,24	2,45	28,85	32,43	2,58	7,54	5,46	0,76
Média	21,33	4,74	41,20	2,22	15,13	2,51	3,24	34,10	20,22	54,61	37,67	50,38	0,24	2,48	29,53	33,07	2,59	7,00	8,17	1,33
F _G	0,60 ^{ns}	1,24 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,84 ^{ns}	4,65 ^{**}	1,10 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,04 ^{ns}	3,67 ^{**}	0,72 ^{ns}	2,38 ^{ns}	7,68 ^{***}	5,94 ^{***}	0,83 ^{ns}	0,22 ^{ns}	1,08 ^{ns}	0,77 ^{ns}	3,26 ^{ns}	4,81 ^{ns}	1,25 ^{ns}
F _K	0,46 ^{ns}	1,89 ^{ns}	0,62 ^{ns}	18,49 ^{**}	0,81 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,53 ^{ns}	3,32 ^{***}	1,81 ^{ns}	2,78 ^{ns}	2,56 ^{ns}	0,46 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,35 ^{ns}	1,77 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,44 ^{ns}	10,05 ^{ns}	7,39 ^{***}
F _{GxK}	1,10 ^{ns}	0,66 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,74 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,65 [*]	1,81 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,10	1,76 ^{ns}	1,45 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,78 ^{ns}
C.V.%	14,26	3,65	23,91	26,52	21,51	36,39	28,30	20,61	18,49	15,80	15,05	27,18	12,99	15,08	10,73	13,54	34,26	33,20	35,66	50,29

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “***” significativo a 1 %; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação.

Tabela 4.2. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m do solo após o cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.

G	M.O	pH	P _{resina}	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
(kg ha ⁻¹)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----					-----			%	----- mg dm ⁻³ -----							
0	18,67	4,98	27,33	2,36	9,50	2,58	2,38	29,73	14,47	44,09	32,89	42,02	0,23	5,21	29,21	25,30	2,71	3,99	4,39	1,12
500	20,67	4,93	28,27	2,41	9,87	2,63	2,25	30,88	15,18	45,92	33,37	49,76	0,24	3,31	26,80	23,50	1,95	3,93	4,87	1,20
1000	18,53	4,93	31,07	2,59	11,31	2,71	1,96	29,64	16,36	46,24	35,85	46,08	0,23	4,10	29,60	23,73	2,46	4,74	3,98	1,20
2000	19,93	4,93	26,67	2,40	12,39	2,39	1,84	30,48	17,74	48,13	37,30	53,69	0,21	4,98	32,26	24,98	2,42	4,91	4,95	1,13
4000	18,40	4,91	30,27	2,41	12,77	2,83	1,91	29,87	17,57	47,44	37,44	60,25	0,21	3,11	28,61	23,58	1,78	5,70	5,95	1,09
K																				
(kg ha ⁻¹)																				
0	18,64	4,98	26,87	1,82	10,80	2,68	1,47	27,46	15,30	42,76	35,66	51,20	0,22	4,49	29,53	24,09	2,21	4,19	6,37	1,58
100	18,84	4,95	28,00	2,43	10,37	2,70	1,81	27,00	15,51	42,51	36,47	48,23	0,23	4,75	29,05	23,86	2,46	4,10	4,51	1,19
180	19,67	4,89	28,64	2,31	11,23	2,59	2,33	29,20	16,12	45,32	35,57	52,20	0,22	5,06	29,27	24,70	2,64	4,70	4,91	1,14
240	19,93	4,94	32,33	2,68	12,62	2,96	1,94	28,80	18,30	46,98	38,58	49,75	0,22	3,13	30,66	24,32	2,08	5,01	4,76	1,09
360	19,13	4,79	27,80	3,06	10,82	2,21	2,79	38,13	16,10	54,23	30,58	50,41	0,23	3,25	27,97	24,12	1,89	5,24	3,59	0,74
Média	19,24	4,94	28,72	2,43	11,17	2,63	2,07	30,12	16,26	46,36	35,37	50,36	0,22	4,14	29,30	24,22	2,26	4,65	4,83	1,15
F _G	1,72 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,75 ^{ns}	5,24 ^{**}	0,89 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,09 ^{ns}	5,03 ^{ns}	0,84 ^{ns}	2,84 ^{ns}	3,96 ^{***}	1,73 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,88 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,18 ^{ns}	4,52 ^{***}	2,65 ^{ns}	0,23 ^{ns}
F _K	0,52 ^{ns}	3,08 [*]	0,97 ^{ns}	12,73 ^{**}	1,85 ^{ns}	2,46 ^{ns}	2,98 [*]	8,57 ^{***}	3,44 ^{ns}	7,93 ^{***}	5,67 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,67 ^{ns}	1,60 ^{ns}	6,57 ^{ns}	8,27 ^{***}
F _{GxK}	1,49 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,31 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,37 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,78 ^{***}	0,58 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,52	0,79 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,65 ^{ns}
C.V.%	15,46	3,45	32,93	20,36	22,13	25,77	54,99	20,11	15,28	14,16	13,67	26,79	18,04	74,30	19,30	21,21	62,66	36,77	31,99	35,14

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “***” significativo a 1 %; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação.

Tabela 4.3. Modelos ajustados para os atributos químicos do solo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m em cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.

Prof.	Caract.		Estimativa	E.P.	t	p-valor	BIC
0-0,20 m	K	Inter.	1,42	$1,25 \times 10^{-01}$	11,36	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-36,92
		K	$4,55 \times 10^{-03}$	$5,82 \times 10^{-04}$	7,81	$3,20 \times 10^{-11}^{**}$	
	Ca	Inter.	$1,43 \times 10^{+01}$	$6,00 \times 10^{-01}$	2,39	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-1,81
		G	$9,63 \times 10^{-04}$	$2,91 \times 10^{-04}$	3,31	$1,47 \times 10^{-03}^{**}$	
	H + Al	Inter.	$3,25 \times 10^{+01}$	1,73	18,85	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	7,83
		K	$3,80 \times 10^{-02}$	$2,13 \times 10^{-02}$	1,78	$4,86 \times 10^{-02}^*$	
		K ²	$-1,11 \times 10^{-04}$	$5,62 \times 10^{-05}$	-1,98	$4,20 \times 10^{-02}^*$	
	SB	Inter.	$1,91 \times 10^{+01}$	$6,59 \times 10^{-01}$	28,93	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	0,34
		G	$9,34 \times 10^{-04}$	$3,19 \times 10^{-04}$	2,92	$4,64 \times 10^{-03}^{**}$	
	V%	Inter.	$3,35 \times 10^{+01}$	1,27	26,32	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-0,41
		G	$1,20 \times 10^{-03}$	$4,40 \times 10^{-04}$	2,73	$7,80 \times 10^{-03}^{**}$	
		K	$1,30 \times 10^{-02}$	$5,11 \times 10^{-03}$	2,54	$1,32 \times 10^{-02}^*$	
	S	Inter.	$3,65 \times 10^{+01}$	3,24	11,27	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-9,96
		G	$2,01 \times 10^{-02}$	$4,62 \times 10^{-03}$	4,35	$4,35 \times 10^{-05}^{***}$	
		G ²	$-3,81 \times 10^{-06}$	$1,08 \times 10^{-06}$	-3,52	$7,45 \times 10^{-04}^{***}$	
	B	Inter.	$2,52 \times 10^{-01}$	$5,76 \times 10^{-03}$	43,77	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-3,11
		G	$-8,59 \times 10^{-06}$	$2,80 \times 10^{-06}$	-3,07	$2,99 \times 10^{-03}^{***}$	
	Mg/K	Inter.	1,91	$1,41 \times 10^{-01}$	13,54	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-13,17
		K	$-3,26 \times 10^{-03}$	$6,58 \times 10^{-04}$	-4,96	$4,40 \times 10^{-06}^{***}$	
0,20-0,40 m	pH	Inter.	4,99	$3,39 \times 10^{-02}$	147,23	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-7,31
		K	$4,82 \times 10^{-04}$	$1,58 \times 10^{-04}$	3,04	$3,27 \times 10^{-03}^{**}$	
	K	Inter.	1,89	$1,01 \times 10^{-01}$	18,78	$< 2,00 \times 10^{-16}^{**}$	-28,36
		K	$3,21 \times 10^{-03}$	$4,71 \times 10^{-04}$	6,82	$2,21 \times 10^{-09}^{**}$	
	Ca	Inter.	9,92	$4,48 \times 10^{-01}$	22,13	$< 2,00 \times 10^{-16}^{**}$	-4,99
		G	$8,38 \times 10^{-04}$	$2,18 \times 10^{-04}$	3,85	$2,53 \times 10^{-04}^{**}$	
	Al	Inter.	1,48	$2,32 \times 10^{-01}$	6,35	$1,61 \times 10^{-08}^*$	-0,89
		K	$3,35 \times 10^{-03}$	$1,08 \times 10^{-03}$	3,08	$2,88 \times 10^{-03}^*$	
	H + Al	Inter.	$2,52 \times 10^{+01}$	1,18	21,43	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-22,58
		K	$2,80 \times 10^{-02}$	$5,49 \times 10^{-03}$	5,1	$2,60 \times 10^{-06}^{***}$	
	CTC	Inter.	$4,22 \times 10^{+01}$	$9,82 \times 10^{-01}$	42,92	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-22,18
		K ²	$9,17 \times 10^{-05}$	$1,51 \times 10^{-05}$	6,09	$4,79 \times 10^{-08}^{***}$	
	V%	Inter.	$3,34 \times 10^{+01}$	1,45	23,08	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-2,41
		G	$1,17 \times 10^{-03}$	$4,31 \times 10^{-04}$	2,71	$8,29 \times 10^{-03}^{**}$	
		K	$3,33 \times 10^{-02}$	$1,61 \times 10^{-02}$	2,07	$4,23 \times 10^{-02}^*$	
		K ²	$-1,24 \times 10^{-04}$	$-4,24 \times 10^{-05}$	2,91	$4,81 \times 10^{-03}^{**}$	
	S	Inter.	$4,43 \times 10^{+01}$	2,29	19,37	$2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-4,07
		G	$4,08 \times 10^{-03}$	$1,11 \times 10^{-03}$	3,67	$4,58 \times 10^{-04}^{***}$	
	Ca/Mg	Inter.	3,98	$3,08 \times 10^{-01}$	12,94	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	0,02
		G	$4,46 \times 10^{-04}$	$1,50 \times 10^{-04}$	2,98	$3,91 \times 10^{-03}^{**}$	
	Mg/K	Inter.	1,53	$8,77 \times 10^{-02}$	17,42	$< 2,00 \times 10^{-16}^{***}$	-14,94
		K	$-2,12 \times 10^{-03}$	$4,09 \times 10^{-04}$	-5,19	$1,80 \times 10^{-06}^{***}$	

“*” significativo a 5 %; “**” significativo a 1 %; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; prof. = profundidade; Caract. = característica; E.P. = erro padrão; t = teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O.

Contudo, o valor de pH (CaCl₂) na camada de 0,20-0,40 m do solo foi influenciado significativamente apenas pela aplicação das doses de potássio (Tabelas 4.2 e 4.3), as quais, reduziram linearmente os valores desse atributo. Na Figura 4.1, verifica-se que a aplicação de 360 kg ha⁻¹ de K₂O resultou no menor valor de pH (CaCl₂) na camada de 0,20-0,40 m do solo, ou seja, 4,82. Essa redução nos valores do pH do solo em função da aplicação de K₂O, pode ser atribuída ao deslocamento de íons H⁺ da solução, após a ligação de K⁺ às cargas negativas do solo, o que possibilitou maior teor de íons H⁺ livres na camada de 0,20-0,40 m do solo e, conseqüentemente, a redução nos valores de pH na referida camada.

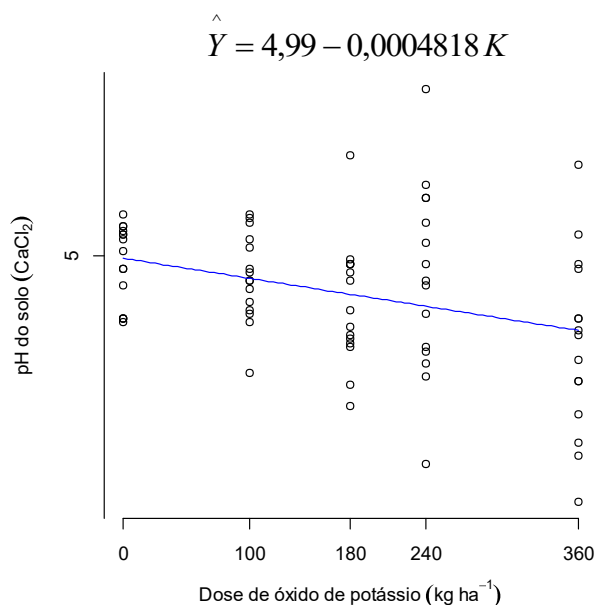


Figura 4.1. Valores de pH (CaCl₂) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.

Ainda nas Tabelas 4.1 e 4.2, observa-se que as doses de gesso e potássio não influenciaram os teores de fósforo no solo nas camadas estudadas, corroborando com efeitos observados por Nóia et al. (2014). Entretanto, Fittipaldi (2006) e Pereira (2007), verificaram aumento nos teores de P no solo na camada de 0,20-0,40 m em resposta à aplicação do gesso agrícola. Os teores médios de P verificados nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo no presente estudo, foram de 41,20 e 28,72 mg dm⁻³, respectivamente. Nóia et al. (2014) ao avaliarem os atributos químicos do solo em resposta à aplicação de doses crescentes de gesso, também não observaram efeitos significativos para o teor de P em resposta à aplicação de gesso, relatando teores médios de 6,90 e 4,20 mg dm⁻³ para o teor de P nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Para Raij et al. (1997), os valores de fósforo verificados no presente estudo, são considerados “médios” (26,0 a 60,0 mg dm⁻³ de P no solo) para o cultivo de hortaliças.

Na camada de 0-0,20 m do solo, o teor de potássio foi influenciado de maneira significativa apenas pela aplicação de K_2O (Tabelas 4.1 e 4.3), verificando-se aumento linear (Figura 4.2-A) e incrementos de $0,0045484 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ no teor desse nutriente no solo, com aplicação de até 360 kg ha^{-1} de K_2O .

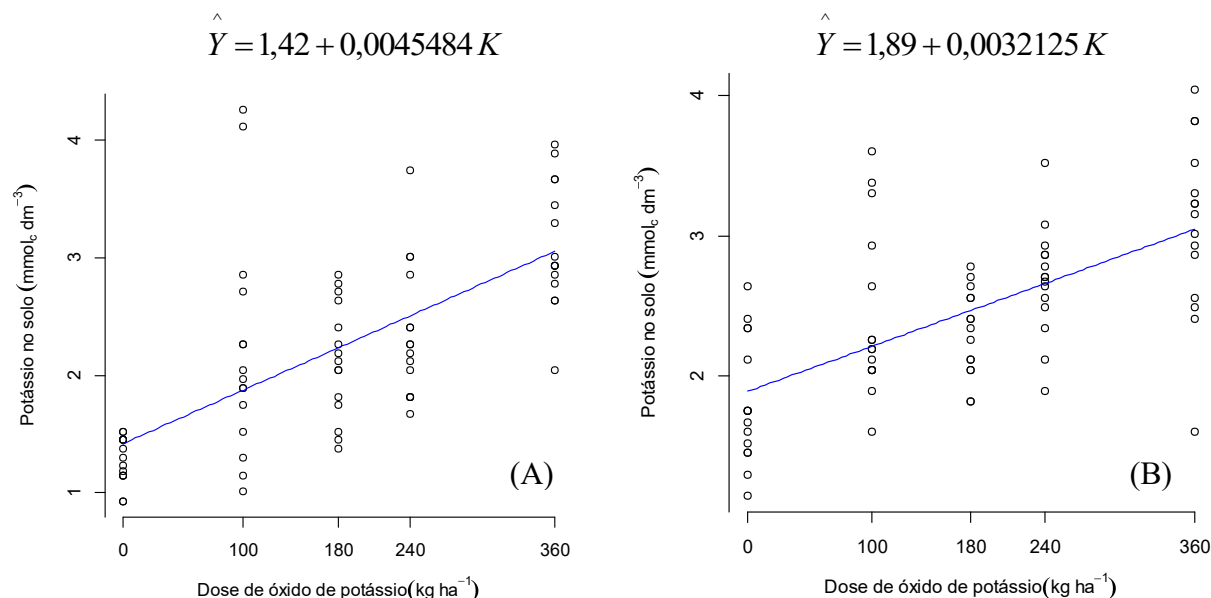


Figura 4.2. Teor de potássio (K) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.

Com a aplicação da dose máxima de potássio, o teor de K verificado no solo na camada de 0-0,20 m foi de $3,06 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$. Araújo et al. (2012) avaliando diferentes doses de K (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha^{-1} de K_2O) em cobertura, no cultivo de abóboras em um Latossolo Vermelho distrófico, também observaram aumento linear no teor de K na camada de 0-0,20 m do solo, em resposta ao aumento da aplicação de potássio, relatando na referida camada, teor de $7,60 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de potássio, com aplicação de 400 kg ha^{-1} de K_2O .

Para o teor de potássio na profundidade de 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.2 e 4.3), verificou-se o aumento linear no teor desse nutriente (Figura 4.2-B) em resposta à aplicação de até 360 kg ha^{-1} de K_2O . Cada quilograma de K_2O aplicado ao solo, propiciou incrementos de $0,0032125 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ no teor de K na referida camada, resultando no máximo teor de K na camada de 0,20-0,40 m, o qual foi de $3,05 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$.

Em comparação ao teor inicial de K no solo na camada de 0-0,20 m, ou seja, $3,53 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$, verificou-se redução de $0,47 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ no teor desse nutriente na referida camada após a adição de até 360 kg ha^{-1} de K_2O , o que pode ser atribuído à percolação de K no solo para a camada de 0,20-0,40 m, em função da textura do solo da área experimental, que possui pouca capacidade em reter cátions, e, às precipitações (Figura 3.1) e irrigações que

ocorreram durante o cultivo da couve-flor. Na camada de 0,20-0,40 m, houve aumento de $0,93 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ no teor desse nutriente em comparação ao teor inicial de K no solo, ou seja, $2,12 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$, o que é justificado pela percolação de K ocorrida na camada de 0-0,20 m. Para Alvarez V. et al. (1999), os teores de K verificados no presente estudo, são classificados como “bons”, ou seja, teores de K no solo entre $1,8$ e $3,10 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$.

Os teores de cálcio nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo foram influenciados significativamente apenas pela aplicação das doses de gesso (Tabelas 4.1 e 4.2). Verificou-se que o teor de cálcio na camada de 0-0,20 m do solo aumentou linearmente com o gesso adicionado ao solo, corroborando com os efeitos observados por Caires et al. (2003, 2004), Pauletti et al. (2014) e Nóia et al. (2014), quanto ao aumento no teor de cálcio no perfil de 0-0,20 m do solo após aplicação de gesso agrícola. Esse aumento no teor de cálcio em função da aplicação do gesso é justificado pela adição direta de cálcio no solo, visto que, o gesso utilizado no presente estudo possuía cerca de 18% de Ca em sua composição.

Com a aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso, verificou-se o máximo teor de cálcio na profundidade de 0-0,20 m, ou seja, $18,15 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ (Figura 4.3-A), teor esse, considerado “médio” ($12,1$ e $24,0 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de Ca) segundo Alvarez V. et al. (1999). Em um Latossolo Vermelho distrófico, Caires et al. (2004), relataram teor médio de $42,0 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ para o cálcio no perfil de 0-0,20 m do solo, aplicando 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Nóia et al. (2014) também observaram aumento significativo nos teores de cálcio na camada de 0-0,20 m do solo em função da aplicação de doses crescentes de gesso, relatando $77,6 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de cálcio na referida camada com aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso.

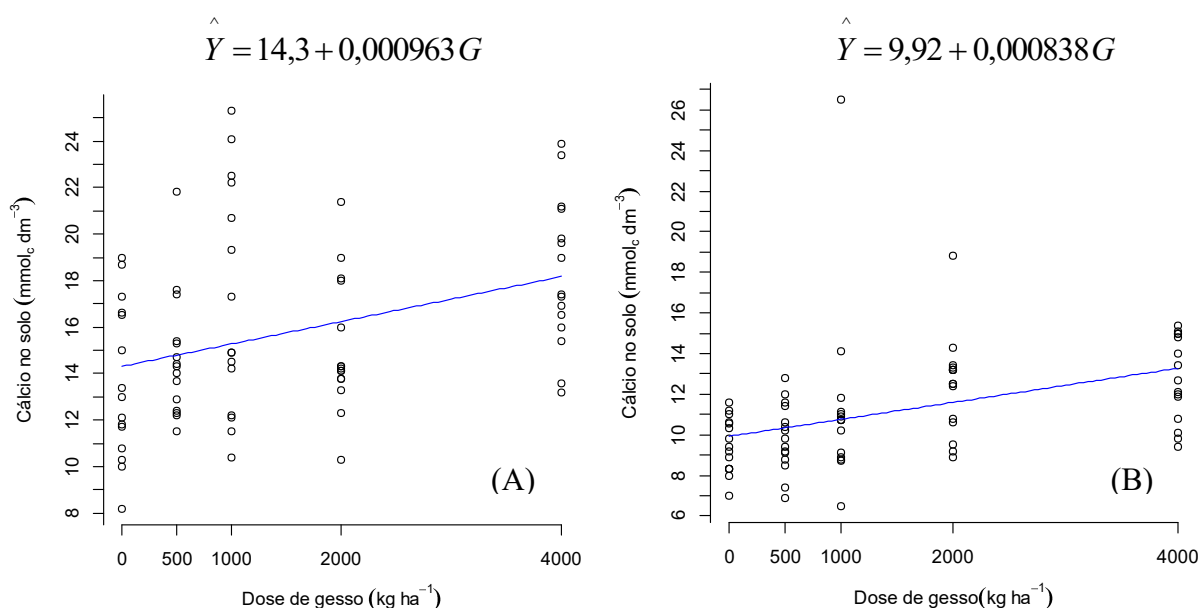


Figura 4.3. Teor de cálcio (Ca) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.

Na profundidade de 0,20-0,40 m (Figura 4.3-B), o teor de cálcio aumentou linearmente com a aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, verificando-se incrementos de 0,000838 mmol_c dm⁻³ no teor desse nutriente a cada quilograma de gesso adicionado ao solo, aumento esse, justificado pelo teor de cálcio (18%) presente no gesso agrícola. Em resposta à aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, verificou-se o máximo teor de cálcio na referida profundidade, 13,27 mmol_c dm⁻³, teor esse, considerado “médio” (12,1 e 24,0 mmol_c dm⁻³ de Ca) para o solo (ALVAREZ V. et al., 1999).

Caires et al. (2004) também observaram aumento no teor de cálcio em profundidade (0-0,80 m) com aplicação de doses crescentes de gesso (0 a 9.000 kg ha⁻¹), relatando teor de 18,0 mmol_c dm⁻³ de cálcio na camada de 0,20-0,40 m do solo após aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso, em um Latossolo Vermelho distrófico.

Em relação ao teor de magnésio no solo, nota-se nas Tabelas 4.1 e 4.2 que a aplicação das doses de gesso e potássio não influenciaram nos teores desse nutriente nas profundidades estudadas, verificando-se valores médios 2,51 mmol_c dm⁻³ e 2,63 mmol_c dm⁻³ nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, teores considerados “baixos” para o solo, ou seja, teores de magnésio no solo entre 1,6 a 4,5 mmol_c dm⁻³, segundo Alvarez V. et al. (1999).

A aplicação das doses de gesso e potássio no solo não influenciaram significativamente no teor de alumínio na camada de 0-0,20 m do solo (Tabelas 4.1), verificando-se teor médio de 3,24 mmol_c dm⁻³ para esse atributo na referida camada. Entretanto, o teor de alumínio na camada de 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.2 e 4.3) aumentou linearmente em resposta à aplicação das doses de potássio (Figura 4.4).

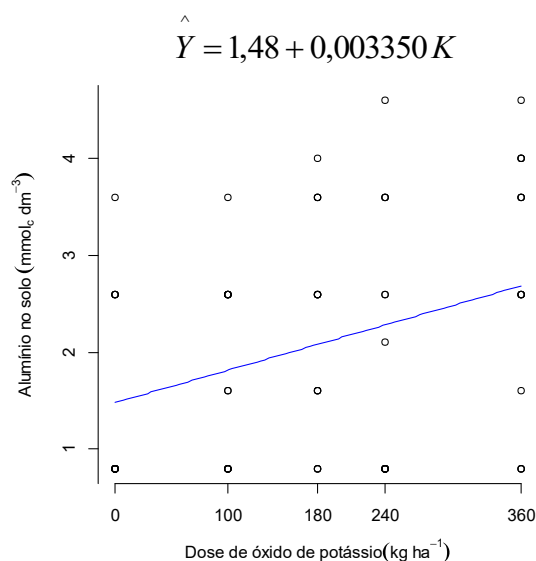


Figura 4.4. Teor de alumínio (Al) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.

Foram verificados incrementos de $0,003350 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no teor de alumínio na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.4) a cada quilograma por hectare de K_2O aplicado ao solo, resultando no máximo teor desse nutriente na referida camada, ou seja, $2,68 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ com a aplicação de 360 kg ha^{-1} de K_2O . Esse aumento no teor de alumínio em função do aumento da aplicação de K_2O , pode estar relacionado a ligação de K^+ às cargas negativas do solo na referida camada, o que contribuiu para o deslocamento do alumínio para a solução do solo. Segundo Raij (1998), o alumínio é fator limitante de algumas culturas e está associado a acidez excessiva de solos, sendo um dos responsáveis pelos efeitos desfavoráveis sobre os vegetais, por ser um elemento fitotóxico. É importante ressaltar ainda que, os teores de alumínio verificados no presente estudo são classificados como “baixos”, ou seja, teores de alumínio no solo entre 2,1 a $5,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ segundo Alvarez V. et al. (1999).

Para a acidez potencial nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.1, 4.2, 4.3), observou-se efeitos significativos apenas da aplicação das doses de potássio nos valores desse atributo. Na camada de 0-0,20 m (Figura 4.5-A), ajustou-se um modelo quadrático para os teores de H^+Al em função das doses de potássio, cuja máxima acidez potencial ($31,59 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi verificada com a aplicação de $171,17 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O .

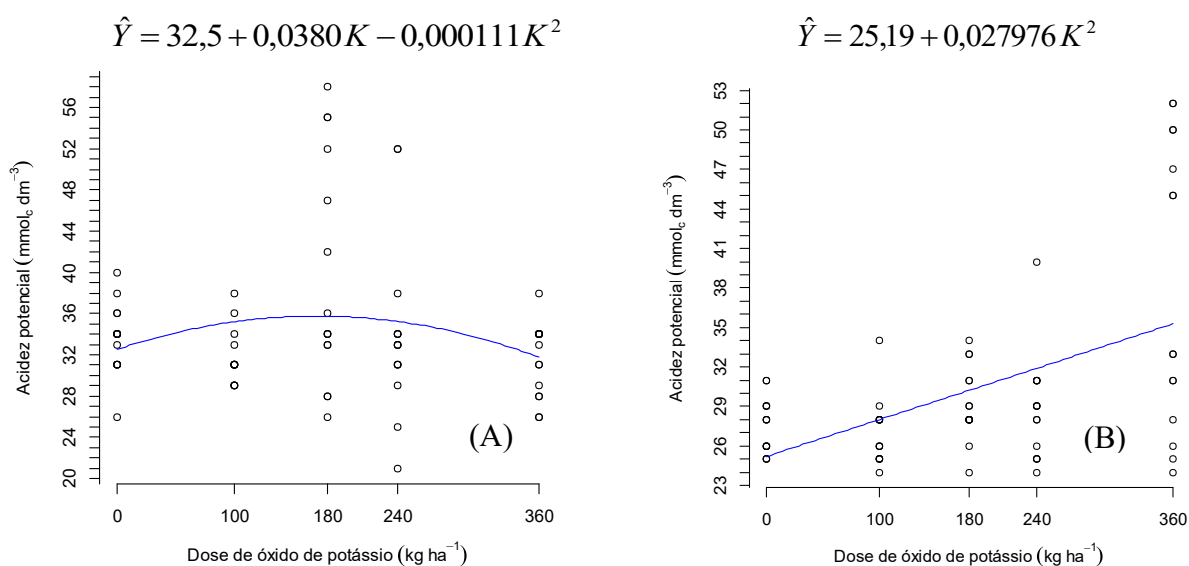


Figura 4.5. Acidez Potencial (H^+Al) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.

Na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.5-B), verificou-se o aumento linear da acidez potencial do solo em resposta à aplicação de potássio, o que pode ser atribuído à maior disponibilidade de íons H^+ e Al^{3+} livres na camada de 0,20-0,40 m do solo, ambos influenciados pela aplicação de potássio (Figuras 4.1 e 4.4), o que resultou na máxima acidez potencial na referida camada, ou seja, $36,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para Alvarez V. et al. (1999), os

valores de acidez potencial verificados no presente estudo, são classificados como “médios”, ou seja, valores de H+Al no solo entre 25,1 e 50,0 mmol_c dm⁻³.

Para a soma de bases (SB) na camada de 0-0,20 m, foram observados efeitos significativos apenas da aplicação do gesso nos valores desse atributo (Tabelas 4.1 e 4.3), diferentemente dos resultados relatados por Costa et al. (2007) e Souza et al. (2012), quanto à aplicação de gesso agrícola. Na Figura 4.6, verifica-se incrementos de 0,000934 mmol_c dm⁻³ nos teores de SB a cada quilograma por hectare de gesso aplicado ao solo, o que resultou no máximo teor de SB na referida camada, ou seja, 22,80 mmol_c dm⁻³. Esse aumento nos valores de SB em resposta a aplicação de gesso, é justificado pelo incremento de cálcio na profundidade de 0-0,20 m (Figura 4.3-A), após a solubilização do gesso.

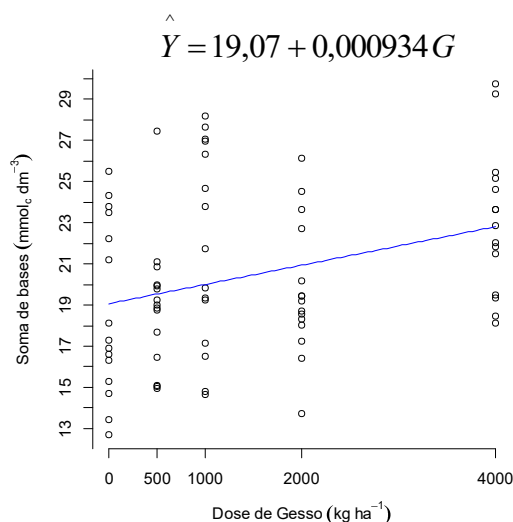


Figura 4.6. Soma de bases (SB) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.

Na camada de 0,20-0,40 m do solo (Tabela 4.2), não foram observados efeitos significativos dos fatores avaliados nos valores de SB, verificando-se teor médio de 16,26 mmol_c dm⁻³. Costa et al. (2007) avaliando os efeitos da aplicação de gesso em um Latossolo Vermelho distroférrico, também não observaram efeitos significativos para SB em resposta à aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de gesso, relatando teor médio 50,30 mmol_c dm⁻³ para a soma de bases no perfil de 0-0,30 m do solo. Souza et al. (2012) em um Latossolo Vermelho distroférrico, não observaram efeitos significativos da aplicação do gesso para a soma de bases, relatando valores entre 99,81 a 22,06 mmol_c dm⁻³ para SB com aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de gesso, no perfil de 0-0,30 m. No presente estudo, os valores verificados para SB nas camadas estudadas são classificados como “médio” (18,1 a 36,0 mmol_c dm⁻³) na camada de 0-0,20 m e “baixo” (6,1 a 18,0 mmol_c dm⁻³) na camada de 0,20-0,40 m do solo (ALVAREZ V. et al., 1999).

A CTC calculada na camada de 0-0,20 m do solo (Tabela 4.1), não foi influenciada significativamente pelos fatores avaliados, verificando-se valor médio de $54,61 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para esse atributo na referida camada. Na Figura 4.7, observa-se que houve aumento linear da CTC calculada na camada de 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.2 e 4.3), em resposta a aplicação das doses de potássio, efeito relacionado ao aumento do teor de alumínio e K em profundidade (Figuras 4.2 e 4.4).

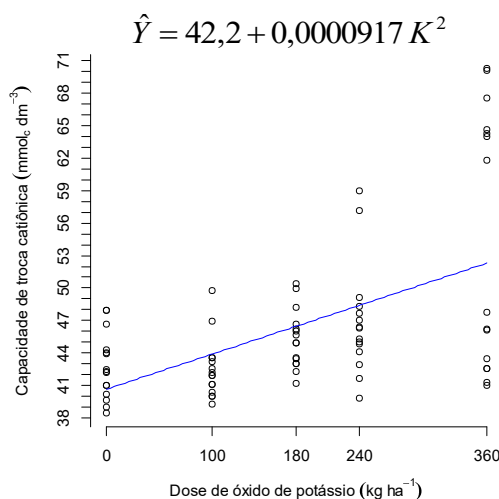


Figura 4.7. CTC calculada na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.

Segundo Ronquim (2010), a maior concentração de cátions essenciais no solo como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , indica CTC elevada e, conseqüentemente, maior será a fertilidade no solo. Com a aplicação de 360 kg ha^{-1} de K_2O , foi verificada a máxima CTC calculada do solo na camada de 0,20-0,40 m, ou seja, $54,08 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 4.7). Para Alvarez V. et al. (1999), os valores de CTC calculada verificados no presente estudo são classificados como “médios”, ou seja, valores de CTC calculada no solo entre $43,1$ a $86,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Para a saturação por bases (V%) nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, foram observadas interações significativas entre os fatores avaliados nos valores desse atributo (Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3). Como pode ser observado na Figura 4.8-A, a saturação por bases na camada de 0-0,20 m aumentou linearmente com a aplicação das doses de gesso e K_2O , o que pode ser explicado pelo aumento nos teores de cálcio nessa camada (Figura 4.3-A) após a solubilização do gesso, bem como pelo aumento de K no solo (Figura 4.2-A) pela aplicação de K_2O , concordando com os efeitos relatados por Costa et al. (2007), Tarstitano (2013) e Nóia et al. (2014), quanto à aplicação de gesso agrícola no solo. Em resposta à aplicação das doses máximas de gesso e K_2O , verificou-se a máxima saturação por bases na camada de 0-0,20 m, 43,12%.

Quanto à saturação por bases (V%) na camada de 0,20-0,40 m, observa-se na Figura 4.8-B, que doses acima de 134,27 kg ha⁻¹ de K₂O promoveram redução nos valores desse atributo, enquanto que para o gesso, quanto maior a dose aplicada, maior o valor de V%. A máxima saturação por bases (40,31%) foi verificada com as doses de 4.000 e 134,27 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente.

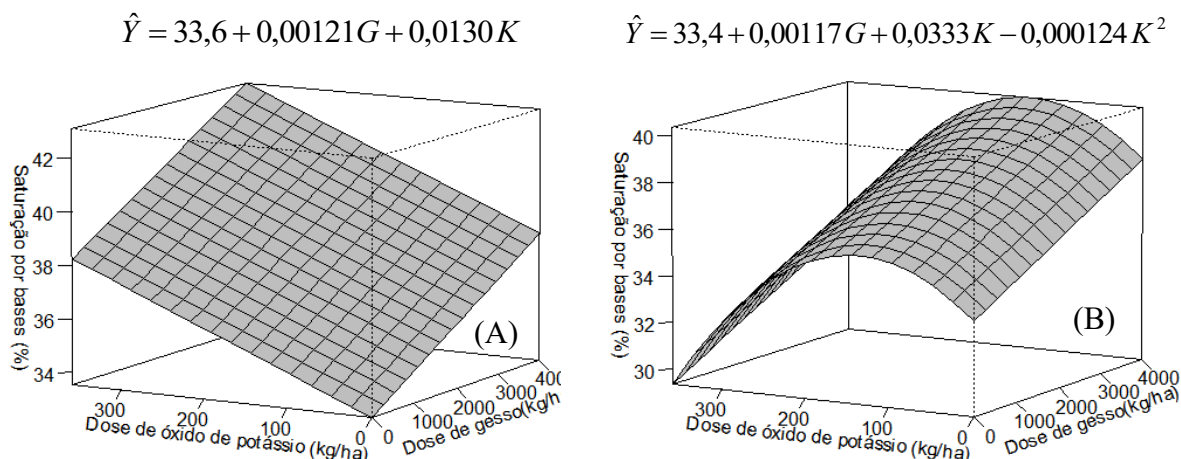


Figura 4.8. Saturação por bases (V%) nas camadas de 0-0,20 m (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de couve-flor.

Costa et al. (2007) relataram valor médio de 38,8% para a saturação por bases no perfil de 0-0,30 m, aplicando 2.000 kg ha⁻¹ de gesso. Tarsitano (2013) verificou valores entre 62,5 e 58,1%, respectivamente, para V% nas camadas de 0,05-0,10 e 0,20-0,40 m após aplicar 4.500 kg ha⁻¹ de gesso. Nóia et al. (2014) verificaram valores médios de 54,56 e 58,91% nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, respectivamente, aplicando 4.000 kg ha⁻¹ de gesso.

Vale destacar ainda que, a aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso e de 134,27 kg ha⁻¹ de K₂O elevaram os valores de V% na camada de 0,20-0,40 m, comprovando a eficiência do gesso em melhorar as condições de fertilidade do solo em camadas mais profundas, o que pode resultar em maiores produtividades. Para Alvarez V. et al. (1999), os valores de V% no presente estudo, classificam-se como “médio” na camada 0-0,20 m e “baixo” na camada de 0,20-0,40 m, ou seja, valores de V% no solo entre 40,1 a 60% e 20,1 e 40%, respectivamente.

Na profundidade de 0-0,20 m (Tabelas 4.1 e 4.3), ajustou-se um modelo quadrático para o teor de enxofre no solo (Figura 4.9-A), cujo máximo teor de enxofre (55,94 mg dm⁻³) foi verificado com a aplicação de 2.637,80 kg ha⁻¹ de gesso, teor esse, 99,78% maior que o relatado no trabalho de Crusciol et al. (2014), no qual ao avaliarem a produtividade e fertilidade de cana-de-açúcar num Latossolo Vermelho, verificaram teor de 28 mg dm⁻³ de enxofre na camada de 0-0,20 m, com aplicação da dose de 1.700 kg ha⁻¹ de gesso.

Foloni et al. (2008) ao avaliarem o crescimento vegetativo do feijoeiro e os atributos químicos de Argissolo Vermelho distroférico com aplicação de 8.000 kg ha⁻¹ de gesso, verificaram teor de 49,71 mg dm⁻³ de S na camada de 0-0,20 m, valor próximo ao deste estudo. Contudo, é importante destacar que Foloni et al. (2008) utilizaram o dobro da dose máxima de gesso aplicada no presente trabalho.

Na camada de 0,20-0,40 m (Tabelas 4.2 e 4.3), o gesso proporcionou aumento linear no teor de enxofre (Figura 4.9-B), ocorrendo incrementos de 0,004075 mg dm⁻³ no teor desse nutriente a cada quilograma de gesso aplicado ao solo. O máximo teor de enxofre estimado na camada de 0,20-0,40 m foi de 60,57 mg dm⁻³ verificado com a dose de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, sendo este teor 109,58% maior que o relatado no estudo de Crusciol et al. (2014), que ao avaliarem a produtividade e fertilidade de cana-de-açúcar num Latossolo Vermelho, verificaram 28,9 mg dm⁻³ para S na camada de 0,20-0,40 m com aplicação de 1.700 kg ha⁻¹ de gesso.

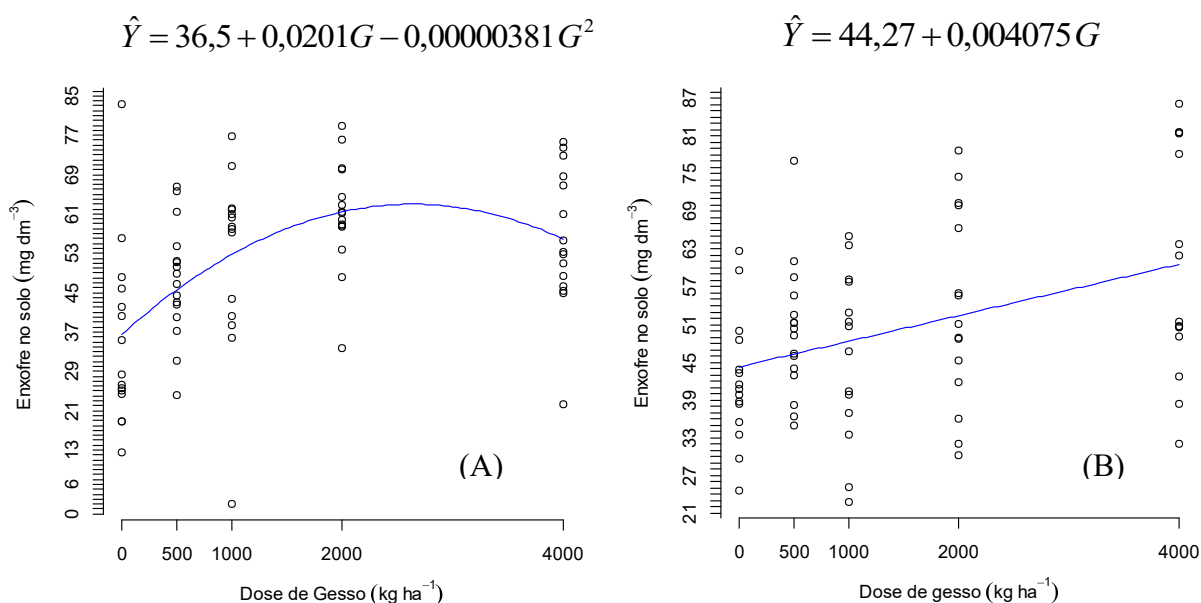


Figura 4.9. Teor de enxofre (S) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.

Rampim et al. (2013) ao avaliarem doses crescentes de gesso nas características químicas de um Latossolo Vermelho eutroférico de textura argilosa e na produtividade de trigo e soja, verificaram com a dose máxima de 5.000 kg ha⁻¹ de gesso na camada de 0,20-0,40 m, teor de 38,14 mg dm⁻³ de enxofre, sendo este 58,80% menor em relação ao valor determinado neste trabalho.

O aumento nos teores de enxofre verificados nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, quando comparados aos trabalhos de Crusciol et al. (2014), Foloni et al. (2008) e

Rampim et al. (2013), foram decorrentes da textura do solo da área experimental (baixo teor de argila). Nesse tipo de solo, existem poucos grupos funcionais (óxido de ferro e alumínio) capazes de reterem o íon sulfato e, conseqüentemente, evitar sua lixiviação para camadas subsuperficiais (ALVAREZ, 2004). Ainda, em comparação aos teores iniciais do solo sem aplicação dos tratamentos (descritos na seção 3.1.1), é possível perceber a alta solubilidade do gesso ($2,04 \text{ g L}^{-1}$), o que proporcionou maior mobilidade do SO_4^{2-} no perfil do solo e incremento desse macronutriente, tanto nas camadas superficiais quanto nas camadas mais subsuperficiais, o que possibilitou ainda, a obtenção de teores de enxofre considerados “altos”, ou seja, teores de enxofre no solo acima de 10 mg dm^{-3} (RAIJ et al., 1997).

Em relação ao teor de boro no solo (Tabelas 4.1 e 4.3), observou-se efeito linear decrescente nos teores desse nutriente na camada de 0-0,20 m (Figura 4.10) em função da aplicação do gesso, com redução de $0,00000859 \text{ mg dm}^{-3}$ no teor de boro a cada quilograma de gesso adicionado ao solo. Esse comportamento pode ser explicado pelo carregamento desse micronutriente para as camadas subsuperficiais do solo, em função da textura do solo na área experimental (textura média), o que contribuiu para a lixiviação do mesmo. Na Figura 4.10, verifica-se que o máximo e mínimo teor de boro estimado na camada de 0-0,20 m, com as doses de 0 e 4.000 kg ha^{-1} de gesso, respectivamente, foram de $0,25$ e $0,22 \text{ mg dm}^{-3}$.

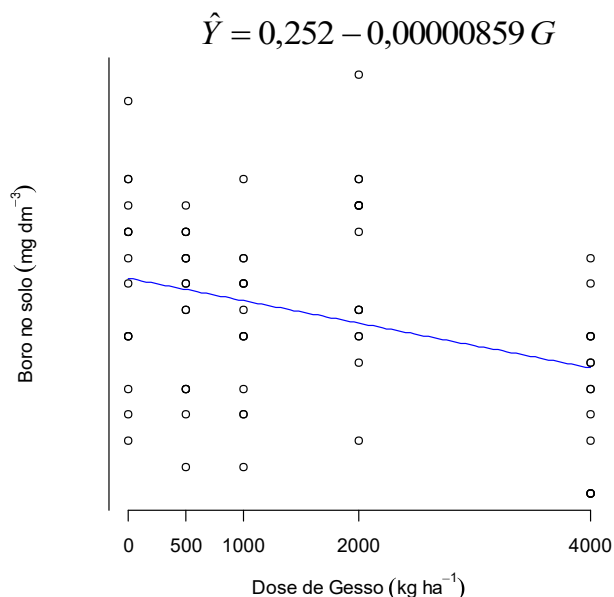


Figura 4.10. Teor de boro (B) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor (eixo y = 0 a $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$).

O teor de boro verificado na camada de 0-0,20 m no presente experimento é considerado “baixo” ($0,16$ a $0,35 \text{ mg dm}^{-3}$ de B) para Alvarez V. et al. (1999) e “médio” ($0,21$ a $0,60 \text{ mg dm}^{-3}$ de B) segundo Raij et al. (1997). Na couve-flor, os sintomas da deficiência de

boro são percebidos pelo aparecimento de pontos escuros nas inflorescências, como também, aparecimento de cavidade na haste principal (SHELP et al., 1992), o que não foi verificado no presente estudo, pois foram realizadas adubações foliares desse micronutriente durante o cultivo das mudas da couve-flor, como também, após o transplante das mesmas para a área experimental. Para o teor de boro na camada de 0,20-0,40 m do solo, não foi observado efeito significativo da aplicação do gesso ou potássio no teor desse nutriente, verificando-se teor médio de $0,22 \text{ mg dm}^{-3}$.

Os teores de Cu, Fe, Mn e Zn nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo não foram influenciados significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabelas 4.1 e 4.2), verificando-se valores médios de 2,48; 29,53; 33,07; e, $2,59 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente, para os teores de Cu, Fe, Mn e Zn na camada de 0-0,20 m. Na profundidade de 0,20-0,40 m foram verificados valores médios de 4,14; 29,30; 24,22; e, $2,26 \text{ mg dm}^{-3}$ para os teores de Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Segundo Alvarez V. et al. (1999), os teores de Cu, Fe, Mn e Zn verificados no presente estudo, são classificados, respectivamente, como “alto” ($>1,8 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu), “médio” (19 a 30 mg dm^{-3} de Fe), “alto” ($>12 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mn) e “alto” ($>2,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn).

Para a relação Ca/Mg na camada de 0-0,20 m (Tabela 4.1), não foram observados efeitos significativos da aplicação das doses de gesso e potássio nos valores desse atributo, verificando-se para essa relação, valor médio de 7,00, na referida profundidade. Na camada de 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.2 e 4.3), a relação Ca/Mg sofreu efeito apenas da aplicação do gesso, verificando-se na Figura 4.11, o aumento linear nos valores dessa relação com a aplicação de gesso ao solo.

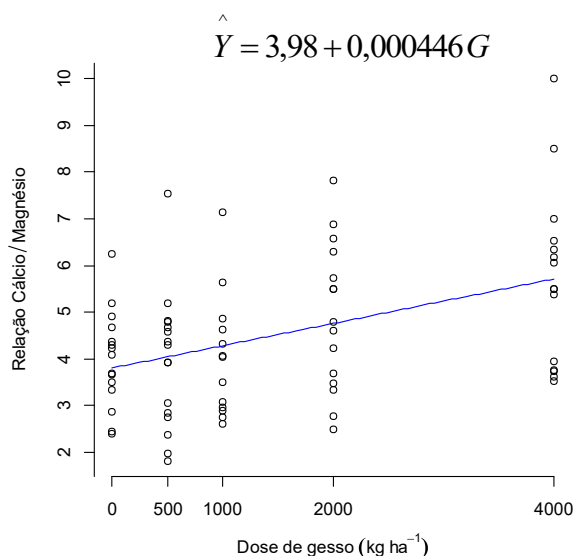


Figura 4.11. Valores da relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses gesso em cultivo de couve-flor.

A máxima relação Ca/Mg observada na camada de 0,20-0,40 m foi de 5,76, relação essa, 53,19% maior que a relatada por Vicensi (2015), o qual, ao avaliar os efeitos de doses e parcelamentos do gesso na fertilidade de um Latossolo Bruno distrófico, observou aumento linear na relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m do solo com aplicação de doses crescentes de gesso, verificando o teor de 2,78 para essa relação após a aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso. Saldanha et al. (2007) ao avaliarem os efeitos da aplicação do gesso agrícola nos atributos químicos de um Latossolo Amarelo de textura argilosa, também observaram aumento na relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m com aplicação de 6.900 kg ha⁻¹ de gesso, verificando 2,4 para essa relação na referida camada.

Ramos (2011) avaliando os atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e a produtividade da cana-de-açúcar em função de doses crescentes de gesso, verificou comportamento semelhante ao do presente estudo para relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m, na qual obteve 3,73 para relação Ca/Mg com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. O aumento na relação Ca/Mg no solo é explicado pela adição de cálcio no solo após a solubilização do gesso, a qual aumentou a concentração de cálcio (Figura 4.3-B) em relação à de magnésio, o que possibilitou o aumento na relação Ca/Mg, corroborando com os efeitos observados por Saldanha et al. (2007), Ramos (2011) e Vicensi (2015).

A relação Ca/K nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo não foi influenciada significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabelas 4.1 e 4.2), verificando-se valores médios de 8,17 e 4,83, respectivamente, para essa relação nas profundidades estudadas.

Para a relação Mg/K, verificou-se apenas efeito da aplicação das doses de potássio nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3). No perfil de 0-0,20 m, a aplicação de K₂O reduziu linearmente os valores dessa relação, como pode ser observado na Figura 4.12-A. A máxima e mínima relação Mg/K verificadas na camada de 0-0,20 m com aplicação das doses de 0 e de 360 kg ha⁻¹ de K₂O foram de 1,91 e 0,73.

Na profundidade de 0,20-0,40 m, as doses de potássio aplicadas ao solo promoveram efeitos lineares decrescentes na relação Mg/K, comportamento semelhante ao verificado na camada de 0-0,20 m (Figura 4.12-A), visto que, com o aumento da aplicação das doses de K₂O, houve incrementos nas quantidades de K no solo em relação ao Mg. Com as doses 0 e 360 kg ha⁻¹ de K₂O, verificou-se, respectivamente, 1,52 e 0,75 para a relação Mg/K na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.12-B).

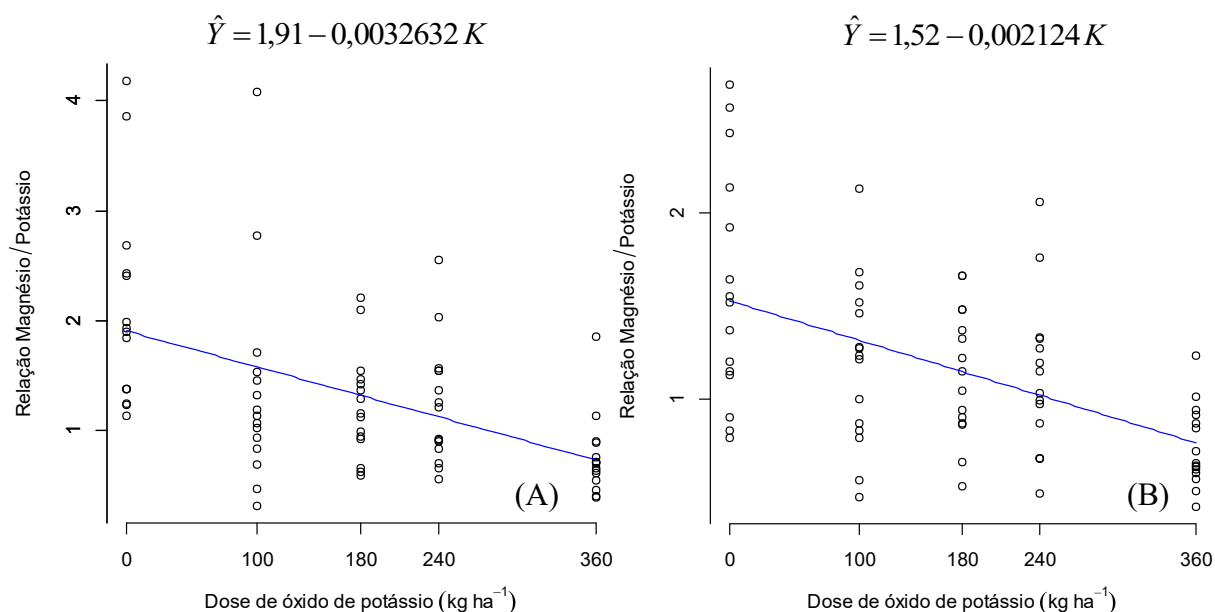


Figura 4.12. Valores da relação Mg/K nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m do solo (B) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.

Na Tabela 4.4, é apresentado o resumo da análise de variância para a análise do estado nutricional das plantas da couve-flor e na Tabela 4.5, os modelos ajustados e selecionados, nas quais, verifica-se efeitos significativos da aplicação de potássio para o teor foliar de K e, efeitos significativos da aplicação do gesso para os teores foliares de S, Cu e Mn.

Para o teor de nitrogênio na folha diagnóstica da cultura da couve-flor, não foi verificado efeito significativo da aplicação de gesso e potássio em seus teores (Tabela 4.4), verificando-se teor médio de 34,52 g kg⁻¹ de N, teor próximo ao relatado por Avalhães et al. (2009), que ao avaliarem o estado nutricional da couve-flor “Verona” em vasos, conduzida em casa de vegetação, com ou sem omissão de nutrientes, verificaram o teor de 36,3 g kg⁻¹ de N foliar para as plantas que receberam tratamento completo de nutrientes.

Camargo et al. (2009), ao avaliarem os efeitos da adubação nitrogenada e épocas de aplicação de boro na couve-flor “Sharon” em Argissolo Vermelho Amarelo, verificaram teor máximo de 30,00 g kg⁻¹ de N foliar para a parcela controle. Segundo May et al. (2007), na cultura da couve-flor o nitrogênio participa do desenvolvimento vegetativo rápido e vigoroso, estando diretamente relacionado ao crescimento da inflorescência.

Bataglia et al. (1983) e Trani e Raij et al. (1997), consideram adequados para a cultura da couve-flor, teores foliares entre 40,0 a 60,0 g kg⁻¹ de N, estando o teor determinado no presente estudo, abaixo do considerado adequado por esses autores. Contudo, para Martinez et al. (1999), o teor foliar de 25 g kg⁻¹ de N é capaz de nutrir a planta em níveis

Tabela. 4.4. Resumo da análise de variância para o estado nutricional das plantas da couve-flor em função de doses de gesso e potássio.

G	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(kg ha ⁻¹)	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----					
0	34,45	2,68	26,83	6,84	1,34	2,45	17,99	4,10	80,13	97,59	35,21
500	34,88	2,69	27,07	6,80	1,23	2,65	19,18	3,95	92,40	91,30	34,37
1000	35,10	2,86	27,28	7,01	1,21	2,79	20,52	3,71	92,88	85,62	33,09
2000	34,08	2,74	26,06	7,35	1,12	2,42	16,70	3,98	112,27	81,35	31,66
4000	34,09	2,97	27,36	7,64	1,17	2,22	18,24	4,64	85,48	78,10	31,66
K (kg ha ⁻¹)											
0	35,18	2,56	22,77	7,52	1,21	2,65	16,12	4,23	93,77	99,76	33,60
100	34,55	2,85	25,53	7,45	1,27	2,44	19,07	3,91	87,56	77,79	31,50
180	34,33	2,94	27,21	7,21	1,23	2,52	18,91	3,95	92,08	79,98	33,78
240	33,97	2,84	29,46	7,02	1,22	2,36	19,71	4,05	84,97	91,40	32,87
360	34,58	2,74	29,62	6,43	1,14	2,57	18,82	4,24	104,78	85,02	34,24
Média	34,52	2,79	26,92	7,13	1,21	2,51	18,53	4,08	92,63	86,79	33,20
F _G	0,85 ^{ns}	1,84 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,48 ^{ns}	6,48 ^{ns}	2,95 ^{***}	0,78 ^{ns}	3,19 ^{***}	1,17 ^{ns}	3,31 ^{***}	0,93 ^{ns}
F _K	0,76 ^{ns}	2,52 ^{ns}	7,26 ^{***}	2,18 ^{ns}	2,36 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,75 ^{ns}	0,63 ^{ns}	0,46 ^{ns}	2,74 ^{ns}	0,43 ^{ns}
F _{GxK}	1,06 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,86 ^{ns}	1,29 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,07 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,45 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,57 ^{ns}	1,06 ^{ns}
C.V.%	5,62	12,73	14,69	16,05	10,17	19,68	33,55	18,31	47,16	25,59	19,20

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “***” significativo a 1%; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F;
C.V. = coeficiente de variação

Tabela 4.5. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os teores foliares de K, S, Cu e Mn em cultivo de couve-flor em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
K	Intercepto	$2,34 \times 10^{+01}$	$7,81 \times 10^{-01}$	30,02	$<2,00 \times 10^{-16***}$	-15,83
	K	$1,93 \times 10^{-02}$	$3,65 \times 10^{-03}$	5,31	$1,15 \times 10^{-06***}$	
S	Intercepto	2,65	$9,72 \times 10^{-02}$	27,29	$<2,00 \times 10^{-16***}$	3,32
	G	$-9,68 \times 10^{-05}$	$4,71 \times 10^{-05}$	-2,05	$4,35 \times 10^{-02*}$	
Cu	Intercepto	3,83	$1,17 \times 10^{-01}$	32,72	$<2,00 \times 10^{-16***}$	-2,76
	G	$1,63 \times 10^{-04}$	$5,68 \times 10^{-05}$	2,87	$5,38 \times 10^{-03**}$	
Mn	Intercepto	$9,45 \times 10^{+01}$	3,38	27,88	$<2,00 \times 10^{-16***}$	2,75
	G	$-5,93 \times 10^{-03}$	$1,67 \times 10^{-03}$	-3,54	$7,05 \times 10^{-04*}$	

“*” significativo a 5 %; “**” significativo a 1 %; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O

adequados de nitrogênio sem comprometer seu metabolismo. Importante ressaltar ainda que, o teor de N foliar na cultura da couve-flor pode variar de acordo com a cultivar, com as características químicas e tipo de solo, adubação de plantio e cobertura.

O teor de fósforo foliar na couve-flor, não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e K₂O (Tabela 4.4), verificando-se teor médio de 2,79 g kg⁻¹ de P foliar, teor esse, abaixo do considerado adequado para a cultura da couve-flor, 4,0 a 8,0 g kg⁻¹, de acordo com Bataglia et al. (1983).

O teor foliar de potássio na couve-flor foi influenciado significativamente apenas pela aplicação de K₂O (Tabelas 4.4 e 4.5), o que provavelmente está relacionado à maior disponibilidade de íons K⁺ no solo (Figuras 4.2-A, 4.2-B), o que propiciou maior absorção de K pelo sistema radicular e, acúmulo nas plantas de couve-flor.

O aumento foliar de K em resposta à adubação potássica na cultura da couve-flor também foi verificado por Silva (2013), que ao avaliar os efeitos da aplicação de doses de K no cultivo da cultivar Verona em Latossolo Vermelho eutrófico, verificou aumento na concentração foliar de K com aplicação de 0 a 200 kg ha⁻¹ de K₂O, corroborando, com os efeitos observados no presente estudo. Para May et al. (2007), o nitrogênio e o potássio são os nutrientes que mais influenciam no cultivo da couve-flor, sendo o K, ativador enzimático.

Com a aplicação da dose máxima de potássio, ou seja, 360 kg ha⁻¹ de K₂O, foi verificado teor de 30,35 g kg⁻¹ de K foliar (Figura 4.13), teor esse, considerado adequado (25,0 a 50,0 g kg⁻¹ de K) às exigências nutricionais da cultura (BATAGLIA et al., 1983) quando comparado ao teor de K foliar obtido com a dose 0 kg ha⁻¹ de K₂O, ou seja, 23,4 g kg⁻¹. Silva (2013) aplicando 200 kg ha⁻¹ de K₂O, verificou teor máximo de 34,9 g kg⁻¹

de K foliar. Avalhães et al. (2009) ao avaliarem o estado nutricional da couve-flor “Verona” em vasos, conduzida em casa de vegetação, com ou sem omissão de nutrientes, verificaram o teor de 37,0 g kg⁻¹ de K foliar para as plantas que receberam tratamento completo de nutrientes.

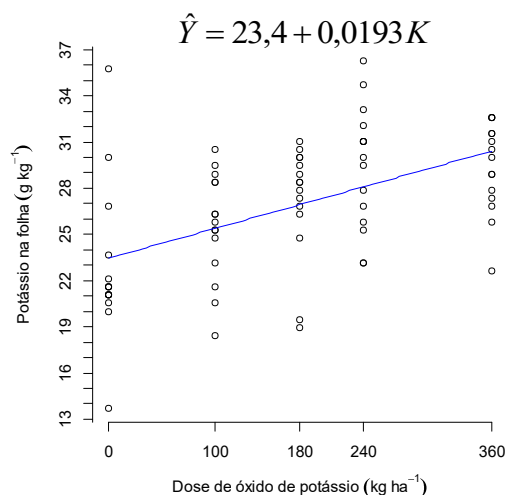


Figura 4.13. Teor foliar de potássio (K) em função de doses de potássio em cultivo de couve-flor.

Para o teor de cálcio foliar na couve-flor, não foram observados efeitos significativos da aplicação do gesso e potássio (Tabela 4.4) nos teores desse nutriente. Esperava-se no presente estudo, que o gesso adicionado ao solo influenciasse significativamente nos teores foliares de Ca, pois o mesmo apresentava 18% de cálcio em sua composição, o que seria uma fonte direta de absorção de Ca pelas plantas. Foi verificado teor médio de 7,13 g kg⁻¹ de Ca foliar, teor esse, abaixo da faixa considerada adequada para a cultura da couve-flor, ou seja, teores foliares de Ca entre 20,0 a 35,0 g kg⁻¹ (BATAGLIA et al., 1983). Importante ressaltar que, a baixa disponibilidade de cálcio no solo (Tabelas 4.1 e 4.2), contribuiu para a menor absorção desse nutriente pelas plantas da couve-flor, o que refletiu em baixos teores foliares de cálcio.

Os resultados da análise de variância não evidenciaram efeitos significativos para os teores foliares de magnésio em resposta à aplicação das doses de gesso e K₂O (Tabela 4.4), verificando-se teor médio de 1,21 g kg⁻¹ de magnésio foliar, teor esse, abaixo do considerado adequado para a cultura da couve-flor (2,5 a 5,0 g kg⁻¹ de Mg) segundo Bataglia et al. (1983), o que pode ser atribuído ao baixo teor de magnésio no solo (Tabelas 4.1 e 4.2).

O teor foliar de enxofre na couve-flor foi influenciado significativamente apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.4 e 4.5). Na Figura 4.14, verifica-se que houve redução linear

no teor desse nutriente com aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, o que resultou no teor mínimo de 2,27 g kg⁻¹ de enxofre foliar na couve-flor.

Essa redução no teor foliar de enxofre em resposta à aplicação de gesso, pode ser atribuída a menor absorção desse nutriente pelas plantas da couve-flor, tendo em vista que os teores iniciais de S nas camadas de 0-0,20 m (10,09 mg dm⁻³) e 0,20-0,40 m (18,53 mg dm⁻³) do solo antes da aplicação dos tratamentos, são considerados “altos”, ou seja, teores de enxofre no solo acima de 10 mg dm⁻³, segundo Raij et al. (1997), o que de certa forma, supriu as necessidades nutricionais da cultura da couve-flor.

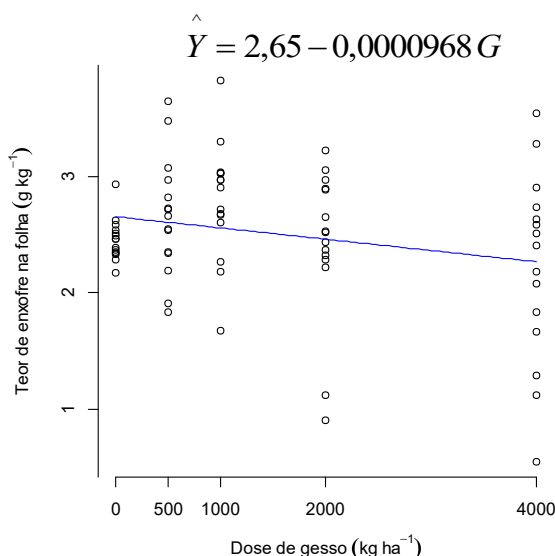


Figura 4.14. Teor foliar de enxofre (S) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.

Para o teor de boro foliar não foram verificados efeitos significativos em seus teores em resposta à aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.4). O teor médio de B foliar verificado foi 18,53 mg kg⁻¹, teor esse, superior ao relatado por Camargo et al. (2009), 10,00 mg kg⁻¹ de B foliar. Mello et al. (2009) avaliando a influência de doses de nitrogênio e boro na produtividade da couve-flor “Sharon”, verificaram na parcela controle, ou seja, nas plantas que receberam adubação convencional, o teor de 79,40 mg kg⁻¹ de B foliar.

Embora, tenham-se realizadas adubações foliares de boro, as mesmas não foram suficientes para suprir as necessidades da cultura, pois para Bataglia et al. (1983) e Trani e Raij (1997), respectivamente, são considerados adequados para a cultura da couve-flor, teores foliares entre 30,0 a 80,0 e 25 a 75 mg kg⁻¹ de B foliar, estando o teor médio do presente estudo, abaixo do ideal para a cultura da couve-flor. Os sintomas da deficiência de boro na couve-flor são percebidos pelo aparecimento de pontos escuros nas inflorescências, como também, aparecimento de cavidade na haste principal

(SHELP et al., 1992). No entanto, não verificou-se sintomas de deficiência de boro (fome oculta) no presente estudo.

Em relação ao teor foliar de cobre na folha diagnóstica da cultura da couve-flor, verificou-se resposta significativa apenas da aplicação do gesso para o teor desse nutriente (Tabelas 4.4 e 4.5). Doses crescentes de gesso aumentaram linearmente o teor foliar de cobre (Figura 4.15), verificando-se incrementos de $0,000163 \text{ mg g}^{-1}$ no teor foliar desse nutriente a cada quilograma de gesso aplicado ao solo, o que resultou no máximo teor foliar de cobre, ou seja, $4,48 \text{ mg kg}^{-1}$.

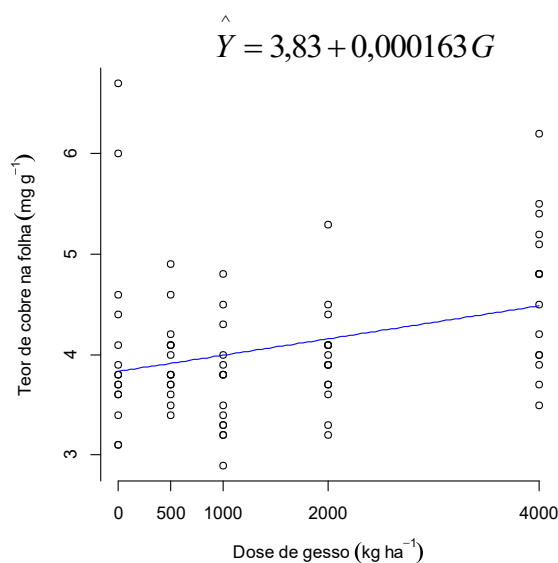


Figura 4.15. Teor foliar de cobre (Cu) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.

Esse aumento no teor de cobre em resposta ao gesso aplicado, pode ser atribuído à melhor distribuição e aprofundamento do sistema radicular das plantas da couve-flor no solo, o que possibilitou maior absorção desse nutriente. Para Bataglia et al. (1983), são considerados adequados para a cultura da couve-flor teores foliares de cobre entre $4,0$ a $15,0 \text{ mg kg}^{-1}$, estando o teor verificado no presente, dentro da faixa considerada adequada para a cultura.

Em relação ao teor foliar de ferro não foram observados efeitos significativos em resposta aos fatores avaliados (Tabela 4.4), sendo verificado o teor médio de $92,63 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe foliar. Esse teor é considerado adequado ($30,0$ a $200,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe) para a cultura da couve-flor segundo Bataglia et al. (1983).

O teor foliar de manganês na couve-flor foi influenciado apenas pela aplicação das doses de gesso (Tabela 4.4 e 4.5). Na Figura 4.16, observa-se redução no teor foliar de Mn na com a aplicação de até 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Com aplicação das doses 0 e 4.000 kg ha^{-1} de

gesso, respectivamente, foram verificados teores de 94,51 e 70,78 mg kg⁻¹ de Mn foliar, teores considerados adequados (25,0 a 250,0 mg kg⁻¹) para a cultura da couve-flor segundo Bataglia et al. (1983).

Para o teor foliar de Zn (Tabela 4.4), não foram observados efeitos significativos da aplicação das doses de gesso e K₂O nos teores desse nutriente, verificando-se valor médio de 33,20 mg kg⁻¹ de Zn foliar, teor esse, considerado adequado às necessidades nutricionais da cultura da couve-flor segundo Bataglia et al. (1983), ou seja, teores entre 20,0 a 250,0 mg kg⁻¹ de Zn foliar.

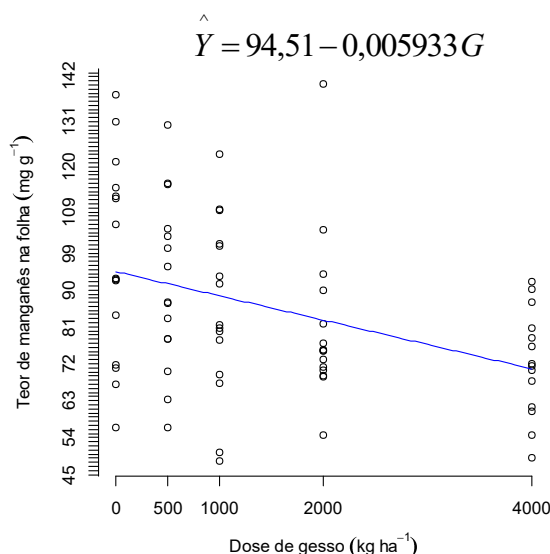


Figura 4.16. Teor foliar de manganês (Mn) em função de doses de gesso em cultivo de couve-flor.

Nas Tabelas 4.6 e 4.7 são apresentadas, respectivamente, a análise de variância para as características biométricas e produtivas da couve-flor e os modelos ajustados e selecionados, através das quais, verificam-se efeitos significativos da aplicação de K₂O para a massa comercial da cabeça (MMC) e diâmetro da cabeça (DC) e, interação significativa entre os fatores avaliados para as variáveis diâmetro do pedúnculo (DP) e altura da cabeça (AC).

A massa comercial da cabeça da couve-flor, foi influenciada significativamente apenas pela aplicação de K₂O (Tabelas 4.6 e 4.7), verificando-se o aumento linear desse atributo (Figura 4.17), em função do aumento da aplicação desse nutriente. A máxima massa da cabeça (0,643 kg), verificada com a aplicação de 360 kg ha⁻¹ de K₂O, é 16,50% menor que o valor relatado por Castoldi et al. (2009), que ao avaliarem o crescimento da cultivar Verona, verificaram massa comercial da cabeça de 0,77 kg. Monteiro et al. (2010) ao avaliarem o desempenho de híbridos de couve-flor de verão com aplicação de 215 kg ha⁻¹ de K₂O, verificaram 1,06 kg de MCC para a cultivar Sharon.

Tabela 4.6. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas da cultura da couve-flor em cultivo em função de doses de gesso e potássio.

G (kg ha ⁻¹)	MCC kg	DC	DP cm	AC
0	0,580	17,10	2,67	12,40
500	0,575	17,21	2,68	12,10
1000	0,604	17,46	2,70	12,25
2000	0,595	17,47	2,75	12,61
4000	0,609	17,54	2,79	12,78
K (kg ha ⁻¹)				
0	0,516	16,80	2,52	11,79
100	0,612	17,62	2,75	12,93
180	0,595	17,29	2,74	12,54
240	0,605	17,48	2,78	12,35
360	0,636	17,60	2,81	12,53
Média	0,593	17,36	2,72	12,43
F _G	0,50 ^{ns}	0,48 ^{ns}	1,88 ^{ns}	1,52 ^{ns}
F _K	4,65 ^{**}	1,58 ^{**}	0,58 ^{ns}	0,72 ^{ns}
F _{GxK}	0,63 ^{ns}	0,47 ^{ns}	10,35 ^{**}	3,60 ^{**}
C.V.%	13,79	5,99	5,19	6,86

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “***” significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação; MCC = massa comercial da cabeça; DC = diâmetro da cabeça; DP = diâmetro do pedúnculo; AC = altura da cabeça

Tabela 4.7. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para as características biométricas e produtivas da couve-flor.

Característica		Estimativa	Erro padrão	t	p-valor	BIC
MCC	Intercepto	5,41x10 ⁻⁰¹	1,58x10 ⁻⁰²	34,27	<2,00x10 ^{-16**}	0,35
	K	2,85x10 ⁻⁰⁴	7,37x10 ⁻⁰⁵	3,86	2,39x10 ^{-04**}	
DC	Intercepto	1,71x10 ⁺⁰¹	1,94x10 ⁻⁰¹	88,12	<2,00x10 ^{-16**}	4,87
	K	1,75x10 ⁻⁰³	9,03x10 ⁻⁰⁴	1,94	5,64x10 ^{-02**}	
DP	Intercepto	2,49	3,68x10 ⁻⁰²	67,64	<2,00x10 ^{-16**}	-22,82
	G	3,13x10 ⁻⁰⁵	1,09x10 ⁻⁰⁵	2,87	5,49x10 ^{-03**}	
	K	1,85x10 ⁻⁰³	4,07x10 ⁻⁰⁴	4,55	2,15x10 ^{-05**}	
	K ²	-3,11x10 ⁻⁰⁶	1,07x10 ⁻⁰⁶	-2,89	5,05x10 ^{-03**}	
AC	Intercepto	1,18x10 ⁺⁰¹	2,32x10 ⁻⁰¹	50,64	<2,00x10 ^{-16**}	6,65
	G	1,43x10 ⁻⁰⁴	6,90x10 ⁻⁰⁵	2,08	4,15x10 ^{-02*}	
	K	6,23x10 ⁻⁰³	2,57x10 ⁻⁰³	2,42	1,79x10 ^{-02*}	
	K ²	-1,40x10 ⁻⁰⁵	6,78x10 ⁻⁰⁶	-2,06	4,31x10 ^{-02*}	

“*” significativo a 5 %; “**” significativo a 1 % e; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O; MMC = massa comercial da cabeça; DC = diâmetro do caule; DP = diâmetro do pedúnculo; AC = altura da cabeça

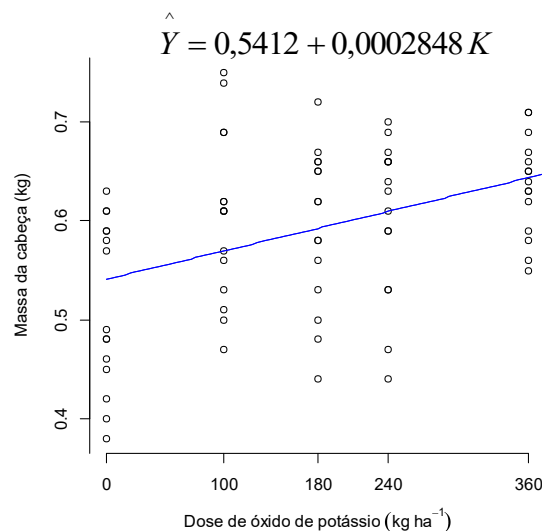


Figura 4.17. Massa comercial da cabeça (MMC) da couve-flor em função de doses de potássio.

As diferenças para a massa da cabeça observadas no presente trabalho quando comparadas a outros estudos, podem estar relacionadas à diferença de cultivares e condições edafoclimáticas de cultivo. No entanto, vale destacar que, pelo fato do presente experimento ter sido realizado no verão, que não é a época ideal para a produção de couve-flor devido às altas temperaturas, as doses de K acima de 210 kg ha⁻¹ de K₂O proporcionaram cabeças de couve-flor com mais de 0,6 kg (Figura 4.17), o que pode ser considerado como de excelente produtividade para a época.

Outro aspecto a ser considerado, refere-se aos atributos químicos do solo após a aplicação das doses de gesso e potássio. Nas Tabelas 4.1 e 4.2, nota-se que o pH (CaCl₂) médio do solo foi de 4,74 e 4,94 nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, valores que podem ser considerados baixos para a cultura. Segundo May et al. (2007), a cultura de couve-flor apresenta intolerância ao alumínio e a acidez do solo, exigindo pH (H₂O) entre 6,0 e 6,8. Importante ressaltar ainda que, os baixos teores de cálcio, magnésio, fósforo e boro, bem como o teor de alumínio no solo (Tabelas 4.1 e 4.2), podem ter influenciado, de certa maneira, nos resultados verificados para a massa comercial da cabeça.

As doses de potássio aplicadas ao solo (Tabelas 4.6 e 4.7), promoveram efeito linear crescente no diâmetro da inflorescência, de maneira que, a cada quilograma de potássio aplicado, houve acréscimo de 0,00175 cm no diâmetro dessa característica (Figura 4.18). O máximo diâmetro da cabeça (17,73 cm), foi verificado com a dose de 360 kg ha⁻¹ de K₂O (Figura 4.18), sendo este valor, próximo aos valores relatados por Pizetta et al. (2005) e Camargo et al. (2006), que ao trabalharem com o híbrido Júlia, obtiveram médias entre 18,2 e 19,2 cm, respectivamente. Wenqiang et al. (2004), ao avaliarem a resposta da couve-flor à

aplicações de doses de K (0, 225 e 450 kg ha⁻¹ de K₂O), obtiveram 12,98 cm para o diâmetro da cabeça com aplicação de 225 kg ha⁻¹ de K₂O, valor este 36,59% menor quando comparado com o do presente estudo.

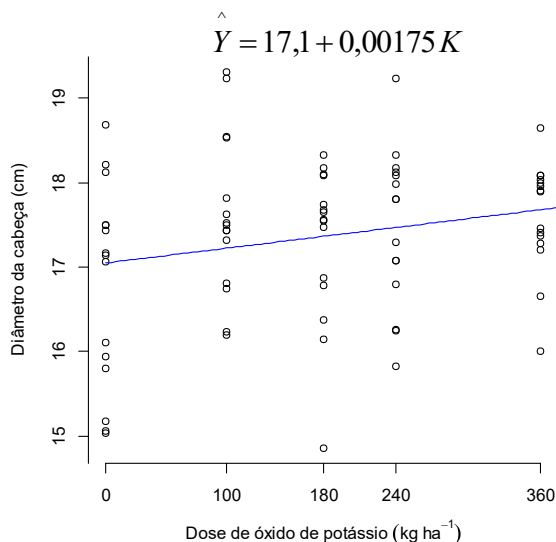


Figura 4.18. Diâmetro da cabeça (DC) da couve-flor em função de doses de potássio.

Para o diâmetro do pedúnculo (DP) observou-se interação significativa entre as doses de gesso e potássio nos valores dessa característica (Tabelas 4.6 e 4.7), ajustando-se ao modelo apresentado na Figura 4.19. O máximo diâmetro do pedúnculo (2,89 cm) foi verificado com as doses de 4000 e 297,42 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente. O pedúnculo é uma característica importante nas culturas em que se comercializam a parte floral, ou seja, a massa carnuda, pois, é a base de sustentação dessa massa. Logo, pedúnculos resistentes e com maiores diâmetros, acarretam ganhos na produtividade, evitando a quebra da parte a ser comercializada

$$Y = 2,49 + 0,0000313 G + 0,00185 K - 0,00000311 K^2$$

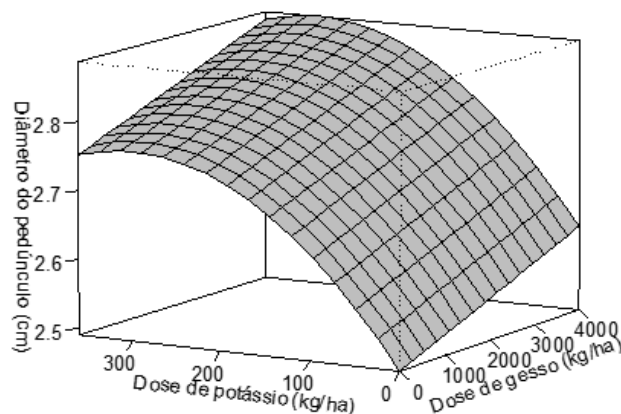


Figura 4.19. Diâmetro do pedúnculo (DP) da couve-flor em função de doses de gesso e potássio.

Com relação à altura da cabeça (AC) da couve-flor houve interação significativa entre doses de gesso e potássio (Tabelas 4.6 e 4.7). Com as doses de 4.000 e 222,50 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, verificou-se a altura máxima de 13,06 cm (Figura 4.20), valor 6,87 % maior que o relatado por Monteiro et al. (2010), no qual ao avaliarem o desempenho de híbridos de couve-flor, verificaram 12,22 cm para a altura da cabeça da cultivar Verona, com a dose de 215 kg ha⁻¹ de K₂O.

$$\hat{Y} = 11,8 + 0,000143G + 0,00623K - 0,000014K^2$$

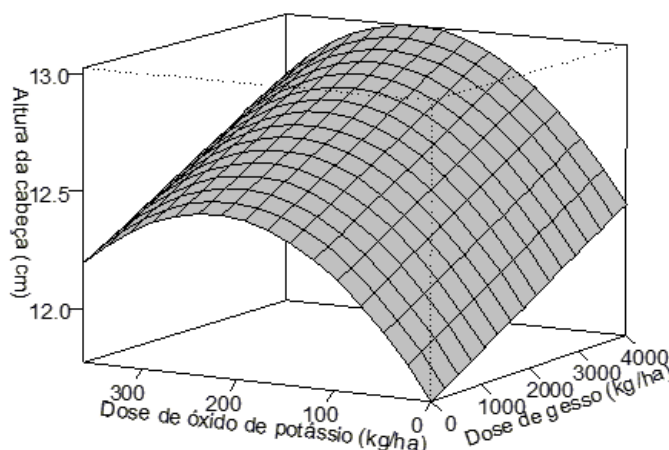


Figura 4.20. Altura da cabeça (AC) da couve-flor em função de doses de gesso e potássio.

Morais Junior et al. (2012) ao avaliarem o desempenho de cultivares de verão de couve-flor, quanto à produtividade e resistência a podridão negra, obtiveram 13,61 cm para a altura da cabeça, da cultivar Sharon. Tal diferença em relação ao presente estudo, pode ser atribuída a época de condução dos diferentes trabalhos, visto que, no estudo de Moraes Júnior et al. (2012), o cultivo da couve-flor ocorreu entre os meses de fevereiro a junho, meses que apresentam temperaturas mais amenas, propícias à cultura.

4.2 Atributos químicos do solo, estado nutricional e características biométricas e produtivas da cultura do milho

Na Tabela 4.8 é apresentado o resumo da análise de variância, e na Tabela 4.10 os modelos ajustados e selecionados para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m, após o cultivo do milho para produção de grãos, por meio das quais, verificam-se efeitos significativos apenas da aplicação do gesso para os teores de Ca, Mg, S, B, Fe, Mn, acidez potencial (H+Al), capacidade de troca catiônica (CTC) e na relação Ca/Mg; efeitos significativos apenas da aplicação de potássio para o pH (CaCl₂) e na relação Ca/K; e, interação significativa entre os tratamentos aplicados para o teor de K e na relação Mg/K.

Tabela 4.8. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m após o cultivo de milho em grãos em função de doses de gesso e potássio.

G	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
(kg ha ⁻¹)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³								%	mg dm ⁻³							
0	20,30	4,76	59,90	2,70	14,70	3,65	4,15	27,10	21,10	48,20	45,00	1,75	0,25	0,62	47,00	7,92	2,14	4,16	6,36	1,82
500	20,70	4,80	63,80	2,90	12,75	2,65	4,10	24,80	18,25	43,05	39,64	8,34	0,25	0,61	50,15	7,99	2,61	4,82	4,03	1,28
1000	21,85	4,76	75,65	2,98	16,35	2,20	3,35	22,95	21,20	44,15	51,11	9,70	0,24	0,63	35,80	7,64	2,24	8,03	7,57	1,10
2000	19,65	4,76	61,30	3,36	16,20	1,70	3,65	21,10	21,05	42,15	44,50	8,35	0,29	0,61	37,95	6,83	2,32	10,17	6,32	1,08
4000	21,00	4,78	51,75	2,63	12,50	3,00	3,80	23,90	18,15	42,05	45,50	12,86	0,21	0,56	41,40	7,47	2,02	4,24	8,15	1,83
K																				
(kg ha ⁻¹)																				
0	20,40	4,81	64,50	2,17	13,85	2,70	3,60	23,05	18,35	41,40	42,00	1,75	0,25	0,62	45,65	7,92	2,14	6,03	6,36	1,82
100	21,15	4,73	57,25	3,02	14,40	2,70	4,10	24,30	20,00	44,30	44,50	8,74	0,29	0,73	45,60	8,80	2,42	6,03	6,15	1,68
180	19,65	4,87	63,20	3,51	14,60	2,85	2,90	23,30	20,95	44,25	46,25	9,24	0,23	0,56	33,50	8,11	2,39	5,61	5,01	1,18
240	21,60	4,73	69,95	2,96	15,05	2,30	4,35	24,25	20,30	44,55	47,50	8,50	0,25	0,57	51,70	5,90	2,04	7,24	7,19	1,19
360	20,70	4,71	57,50	2,91	14,60	2,65	4,10	24,95	20,15	45,10	45,50	12,75	0,24	0,56	35,85	7,11	2,37	6,51	7,77	1,25
Média	20,70	4,77	62,48	2,91	14,50	2,64	3,81	23,97	19,95	43,92	45,15	8,20	0,25	0,60	42,46	7,57	2,27	6,28	6,49	1,42
F _G	1,13 ^{ns}	0,40 ^{ns}	2,03 ^{ns}	6,30 ^{ns}	9,96 ^{***}	26,80 ^{***}	2,49 ^{ns}	13,65 ^{***}	2,44 ^{ns}	4,91 ^{***}	6,25 ^{ns}	33,17 ^{***}	64,76 ^{***}	6,60 ^{ns}	3,41 ^{***}	2,98 ^{***}	6,10 ^{ns}	40,39 ^{***}	4,28 ^{ns}	49,02 ^{ns}
F _K	0,94 ^{ns}	1,79 [*]	0,76 ^{ns}	17,90 ^{ns}	1,18 ^{ns}	2,01 ^{ns}	7,59 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,60 ^{ns}	1,16 ^{ns}	3,69 ^{ns}	4,18 ^{ns}	5,11 ^{ns}	5,37 ^{ns}	6,70 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,15 ^{ns}	9,98 ^{***}	8,69 ^{ns}
F _{GxK}	0,99 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,95 ^{ns}	1,44 ^{***}	3,38 ^{ns}	1,68 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,92 ^{ns}	9,87 ^{ns}	2,48 ^{ns}	3,64 ^{ns}	1,01 ^{ns}	3,20 ^{ns}	3,20 ^{ns}	1,77 ^{ns}	2,55 ^{ns}	2,64 ^{***}
C.V.%	16,56	2,83	43,49	17,50	28,60	24,42	24,58	11,22	22,93	11,66	11,99	39,04	12,92	10,46	34,42	16,37	19,15	30,15	22,11	24,64

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “***” significativo a 1%; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação

Tabela 4.9. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m após o cultivo de milho em grãos em função de doses de gesso e potássio.

G	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
(kg ha ⁻¹)	(g dm ⁻³)	(CaCl ₂)	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----				----- % -----				----- mg dm ⁻³ -----								
0	15,00	4,83	44,25	2,78	8,75	3,25	3,95	20,60	14,75	34,50	43,25	4,50	0,13	0,58	30,00	6,03	1,40	2,61	3,25	1,23
500	17,50	4,58	41,75	3,63	13,50	3,50	4,35	20,70	19,75	41,75	46,75	5,25	0,28	0,83	41,50	7,67	1,54	3,95	5,28	1,42
1000	17,84	4,60	54,25	3,10	11,75	3,29	4,30	20,60	16,75	37,50	44,88	9,50	0,34	0,66	43,00	6,58	2,08	3,75	5,58	1,49
2000	13,83	4,85	49,75	3,70	13,75	2,66	4,05	20,30	17,25	37,67	47,25	11,25	0,40	0,84	34,25	5,39	1,49	7,08	8,13	1,16
4000	13,82	4,85	44,00	3,43	11,00	4,07	3,50	19,65	20,25	40,34	47,62	8,00	0,26	0,79	39,50	5,14	1,90	6,02	7,85	1,30
K																				
(kg ha⁻¹)																				
0	15,00	4,83	44,25	2,78	8,75	3,25	3,75	20,20	14,75	34,50	43,25	4,50	0,13	0,58	30,00	6,03	2,11	2,61	3,25	1,23
100	17,25	4,70	42,75	3,85	12,25	3,50	4,40	20,80	19,00	41,25	45,50	4,69	0,33	0,80	45,28	7,58	1,60	3,77	5,04	1,39
180	14,25	4,83	49,25	3,63	10,25	3,25	3,35	20,05	17,50	37,25	46,75	8,50	0,28	0,68	38,25	6,86	1,53	4,19	5,85	1,27
240	15,75	4,54	49,36	2,88	12,23	2,75	4,50	20,15	14,75	36,25	40,75	12,54	0,33	0,93	41,86	4,37	1,49	6,90	8,29	1,28
360	15,75	4,83	48,39	3,53	15,26	4,00	4,15	20,65	22,75	42,50	53,50	8,25	0,31	0,74	32,88	6,00	1,70	5,94	7,69	1,44
Média	15,60	4,74	46,80	3,33	11,75	3,35	4,03	20,37	17,75	38,35	45,95	7,70	0,28	0,74	37,65	6,16	1,68	4,68	6,02	1,32
F _G	1,60 ^{ns}	1,64 ^{ns}	0,37 ^{ns}	20,71 ^{ns}	10,59 ^{ns}	53,87 ^{***}	2,44 ^{***}	1,93 ^{ns}	8,41 ^{ns}	7,17 ^{ns}	6,14 ^{ns}	25,79 ^{***}	20,00 ^{***}	25,64 ^{ns}	6,63 ^{ns}	2,95 ^{ns}	1,80 ^{ns}	55,43 ^{ns}	31,20 ^{ns}	24,92 ^{***}
F _K	0,79 ^{ns}	3,55 ^{ns}	1,49 ^{ns}	4,20 ^{ns}	4,89 ^{ns}	2,26 ^{ns}	4,80 ^{ns}	1,16 ^{ns}	5,52 ^{***}	4,98 ^{ns}	3,55 ^{***}	1,55 ^{ns}	1,42 ^{ns}	3,40 ^{ns}	6,45 ^{ns}	5,13 ^{ns}	1,30 ^{ns}	2,08 ^{ns}	3,78 ^{ns}	4,87 ^{ns}
F _{GxK}	1,37 ^{ns}	2,37 ^{ns}	2,06 ^{ns}	2,56 ^{***}	3,55 ^{***}	1,92 ^{ns}	1,19 ^{ns}	1,70 ^{ns}	3,69 ^{ns}	3,09 ^{***}	2,92 ^{ns}	4,14 ^{ns}	5,98 ^{ns}	2,20 ^{ns}	3,93 ^{ns}	3,76 ^{ns}	1,32 ^{ns}	2,57 ^{***}	3,48 ^{***}	3,27 ^{ns}
C.V.%	12,56	2,76	25,93	20,36	14,67	18,12	24,19	6,79	12,42	6,99	7,72	38,31	17,65	15,65	17,04	19,43	57,99	26,92	21,02	18,10

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “**” significativo a 1%; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação

Tabela 4.10. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo após o cultivo de milho em grãos na camada de 0-0,20 m em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
pH	Intercepto	4,81	$2,47 \times 10^{-02}$	194,28	$<2,00 \times 10^{-16}***$	4,37
	K	$-2,30 \times 10^{-04}$	$1,15 \times 10^{-04}$	1,99	$4,88 \times 10^{-02}*$	
K	Intercepto	2,35	$1,32 \times 10^{-01}$	17,8	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-143,85
	G	$1,75 \times 10^{-04}$	$4,55 \times 10^{-05}$	3,85	$2,13 \times 10^{-04}***$	
	K	$1,70 \times 10^{-03}$	$5,27 \times 10^{-04}$	3,23	$1,69 \times 10^{-03}**$	
Ca	Intercepto	$1,31 \times 10^{+01}$	$3,98 \times 10^{-01}$	32,95	$<2,00 \times 10^{-16}***$	2,63
	G	$6,94 \times 10^{-04}$	$1,93 \times 10^{-04}$	3,59	$5,22 \times 10^{-04}***$	
Mg	Intercepto	3,56	$1,30 \times 10^{-01}$	27,48	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-54,25
	G	$-9,88 \times 10^{-04}$	$1,84 \times 10^{-04}$	-5,38	$5,21 \times 10^{-07}***$	
	G ²	$1,32 \times 10^{-07}$	$4,30 \times 10^{-08}$	3,06	$2,85 \times 10^{-03}**$	
H + Al	Intercepto	$2,59 \times 10^{+01}$	$4,07 \times 10^{-01}$	63,54	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-26,09
	G	$-1,27 \times 10^{-03}$	$1,98 \times 10^{-04}$	-6,44	$4,44 \times 10^{-09}***$	
CTC	Intercepto	$4,49 \times 10^{+01}$	$6,36 \times 10^{-01}$	70,63	$<2,00 \times 10^{-16}***$	0,53
	G	$-9,19 \times 10^{-04}$	$3,08 \times 10^{-04}$	-2,98	$3,67 \times 10^{-03}**$	
S	Intercepto	5,78	1,01	5,73	$1,11 \times 10^{-07}***$	-20,84
	G	$2,87 \times 10^{-03}$	$4,89 \times 10^{-04}$	5,86	$6,18 \times 10^{-08}***$	
B	Intercepto	$2,36 \times 10^{-01}$	$6,74 \times 10^{-03}$	35,05	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-80,22
	G	$2,36 \times 10^{-05}$	$9,55 \times 10^{-06}$	2,47	$1,53 \times 10^{-02}*$	
	G ²	$-1,24 \times 10^{-08}$	$2,23 \times 10^{-09}$	-5,55	$2,52 \times 10^{-07}***$	
Fe	Intercepto	$4,61 \times 10^{+01}$	2,36	19,53	$<2,00 \times 10^{-16}***$	4,75
	G	$-2,42 \times 10^{-03}$	$1,15 \times 10^{-03}$	-2,11	$3,71 \times 10^{-02}*$	
Mn	Intercepto	7,78	$2,28 \times 10^{-01}$	34,12	$<2,00 \times 10^{-16}***$	2,42
	G	$-2,72 \times 10^{-04}$	$1,11 \times 10^{-04}$	-2,46	$1,55 \times 10^{-02}*$	
Ca/Mg	Intercepto	3,7	$2,08 \times 10^{-01}$	17,73	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-72,15
	G	$1,61 \times 10^{-03}$	$1,01 \times 10^{-04}$	15,96	$<2,00 \times 10^{-16}***$	
Ca/K	Intercepto	6,39	$2,90 \times 10^{-01}$	22,05	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-68,71
	K	$-1,64 \times 10^{-02}$	$3,58 \times 10^{-03}$	-4,6	$1,30 \times 10^{-05}***$	
	K ²	$3,63 \times 10^{-05}$	$9,44 \times 10^{-06}$	3,85	$2,13 \times 10^{-04}***$	
Mg/K	Intercepto	1,69	$7,23 \times 10^{-02}$	23,37	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-101,09
	G	$-5,00 \times 10^{-04}$	$7,27 \times 10^{-05}$	-6,88	$6,48 \times 10^{-10}***$	
	K	$-3,43 \times 10^{-03}$	$7,11 \times 10^{-04}$	-4,82	$5,35 \times 10^{-06}***$	
	G ²	$6,75 \times 10^{-08}$	$1,70 \times 10^{-08}$	3,97	$1,42 \times 10^{-04}***$	
	K ²	$7,49 \times 10^{-06}$	$1,88 \times 10^{-06}$	3,99	$1,30 \times 10^{-04}***$	

“*” significativo a 5 %; “***” significativo a 1 % e; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G: doses de gesso; K: doses de K₂O.

Tabela 4.11. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo em cultivo de milho em grãos na camada de 0,20-0,40 m, em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
K	Intercepto	2,82	$1,58 \times 10^{-01}$	17,91	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-29,04
	G	$-8,94 \times 10^{-04}$	$1,59 \times 10^{-04}$	-5,63	$1,83 \times 10^{-07}***$	
	K	$4,40 \times 10^{-03}$	$1,55 \times 10^{-03}$	2,83	$5,65 \times 10^{-03}**$	
	G ²	$1,55 \times 10^{-07}$	$3,71 \times 10^{-08}$	4,17	$6,65 \times 10^{-05}***$	
	K ²	$-9,13 \times 10^{-06}$	$4,10 \times 10^{-06}$	-2,23	$2,82 \times 10^{-06}^*$	
Ca	Intercepto	$1,30 \times 10^{+01}$	$4,18 \times 10^{-01}$	26,36	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-2,71
	G	$5,40 \times 10^{-04}$	$1,68 \times 10^{-04}$	3,22	$1,73 \times 10^{-03}**$	
	K ²	$1,36 \times 10^{-05}$	$5,12 \times 10^{-06}$	2,66	$9,26 \times 10^{-03}**$	
Mg	Intercepto	3,52	$9,40 \times 10^{-02}$	37,44	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-64,79
	G	$-4,73 \times 10^{-04}$	$4,56 \times 10^{-05}$	-10,36	$<2,00 \times 10^{-16}***$	
Al	Intercepto	4,28	$1,54 \times 10^{-01}$	27,76	$<2,00 \times 10^{-16}***$	2,84
	G	$-1,65 \times 10^{-04}$	$7,47 \times 10^{-05}$	-2,21	$2,96 \times 10^{-02}^*$	
SB	Intercepto	$1,67 \times 10^{+01}$	$5,19 \times 10^{-01}$	32,15	$<2,00 \times 10^{-16}***$	3,12
	K	$5,88 \times 10^{-03}$	$2,42 \times 10^{-03}$	2,43	$1,70 \times 10^{-02}^*$	
CTC	Intercepto	$3,80 \times 10^{+01}$	$5,97 \times 10^{-01}$	63,73	$<2,00 \times 10^{-16}***$	3,97
	G	$-4,98 \times 10^{-04}$	$2,39 \times 10^{-04}$	-2,08	$4,03 \times 10^{-03}^*$	
	K ²	$1,75 \times 10^{-05}$	$7,31 \times 10^{-06}$	2,39	$1,87 \times 10^{-03}^*$	
V %	Intercepto	$4,49 \times 10^{+01}$	$7,78 \times 10^{-01}$	57,79	$<2,00 \times 10^{-16}***$	5,06
	K	$7,40 \times 10^{-03}$	$3,63 \times 10^{-03}$	2,04	$4,42 \times 10^{-02}^*$	
S	Intercepto	4,65	$8,94 \times 10^{-01}$	5,19	$1,14 \times 10^{-06}***$	-30,79
	G	$5,38 \times 10^{-03}$	$1,27 \times 10^{-03}$	4,24	$5,04 \times 10^{-05}***$	
	G ²	$-7,43 \times 10^{-07}$	$2,96 \times 10^{-07}$	-2,51	$1,38 \times 10^{-02}^*$	
B	Intercepto	$2,15 \times 10^{-01}$	$1,28 \times 10^{-02}$	16,82	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-7,57
	G	$8,70 \times 10^{-05}$	$1,81 \times 10^{-05}$	4,80	$5,75 \times 10^{-06}***$	
	G ²	$-2,00 \times 10^{-08}$	$4,24 \times 10^{-09}$	-4,71	$8,31 \times 10^{-06}***$	
Ca/Mg	Intercepto	2,41	$3,05 \times 10^{-01}$	7,88	$4,72 \times 10^{-12}***$	-108,64
	G	$1,42 \times 10^{-03}$	$1,05 \times 10^{-04}$	13,51	$<2,00 \times 10^{-16}***$	
	K	$2,85 \times 10^{-03}$	$1,22 \times 10^{-03}$	2,34	$2,13 \times 10^{-02}^*$	
Ca/K	Intercepto	4,85	$3,34 \times 10^{-01}$	14,52	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-41,41
	G	$8,27 \times 10^{-04}$	$9,91 \times 10^{-05}$	8,34	$5,31 \times 10^{-13}***$	
	K	$-1,10 \times 10^{-02}$	$3,69 \times 10^{-03}$	-2,99	$3,60 \times 10^{-03}**$	
	K ²	$2,67 \times 10^{-05}$	$9,75 \times 10^{-06}$	2,74	$7,40 \times 10^{-03}**$	
Mg/K	Intercepto	$0,13 \times 10^{+01}$	$4,39 \times 10^{-02}$	29,69	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-22,58
	G	$-9,81 \times 10^{-05}$	$2,13 \times 10^{-05}$	-4,61	$1,21 \times 10^{-05}$	

“*” significativo a 5 %; “**” significativo a 1 % e; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O.

Para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m, após o cultivo de milho para produção de grãos (Tabelas 4.9 e 4.11), foram verificados efeitos significativos da aplicação do gesso nos teores de Mg, Al, S, B e para a relação Mg/K; efeitos significativos apenas de potássio para os atributos soma de bases (SB) e saturação por bases (V%); e, interação significativa entre as doses de gesso e potássio para os teores de K e Ca, capacidade de troca catiônica (CTC) e relações Ca/Mg e Ca/K.

Os teores de matéria orgânica (MO) nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabelas 4.8 e 4.9), não foram influenciados pela aplicação das doses de gesso e potássio, verificando-se para essas camadas, teores médios de 20,70 e 15,60 g dm⁻³ de MO, respectivamente. Tarsitano (2013) também não observou efeitos significativos da aplicação de gesso para os teores de MO no solo, relatando teores médios de 17,30 e 12,00 g dm⁻³ nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m.

A aplicação de doses crescentes de potássio no solo, reduziram linearmente os valores de pH (CaCl₂) na camada de 0-0,20 m (Tabelas 4.8 e 4.10), efeito semelhante ao verificado na camada de 0,20-0,40 m do solo no cultivo da couve-flor (Figura 4.1). Em função da dose máxima de K₂O, verificou-se o mínimo valor de pH (CaCl₂) na camada de 0-0,20 m, ou seja, 4,73 (Figura 4.21). Essa redução nos valores do pH (CaCl₂) do solo em função da aplicação de K₂O, pode ser atribuída à ligação de K⁺ às cargas negativas do solo, o que possibilitou o deslocamento e maior concentração de íons H⁺ livres, resultando na redução nos valores desse atributo.

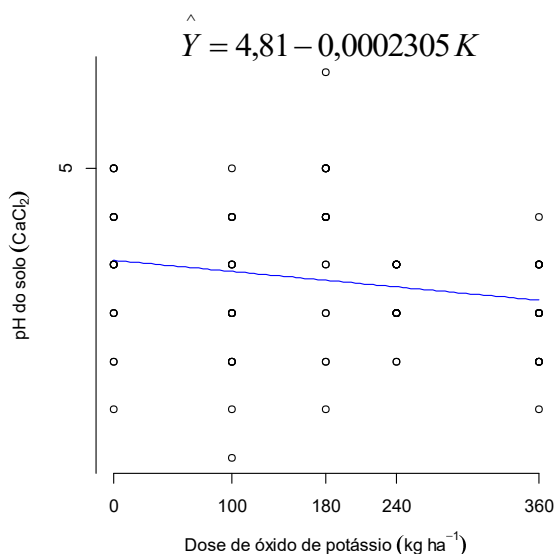


Figura 4.21. Valores de pH (CaCl₂) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de milho em grãos.

O valor de pH (CaCl_2) na camada de 0,20-0,40 m do solo não respondeu de maneira significativa à aplicação das doses de gesso e potássio (Tabelas 4.9), corroborando com os trabalhos de Foloni et al. (2008), Rocha et al. (2008) e Rampim et al. (2011), quanto à aplicação de gesso. É importante reforçar que o gesso não possui a capacidade de consumir prótons H^+ e aumentar o pH do solo, pois uma vez dissociado, os íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} terão apenas a função de fornecer cálcio e enxofre ao sistema solo/planta (MASCHIETTO, 2009).

Foi verificado valor médio de 4,74 para o pH (CaCl_2) na camada de 0,20-0,40 m. Em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Ramos (2011), verificou 4,06 para o pH em CaCl_2 na profundidade de 0,20-0,40 m aplicando 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Rampim et al. (2011) relataram valor médio de 4,99 para o pH em CaCl_2 de um Latossolo Vermelho eutroférico, na camada de 0,20-0,40 m com 5.000 kg ha^{-1} de gesso aplicado.

Os teores de fósforo no perfil de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, não foram influenciados significativamente em função dos fatores avaliados (Tabelas 4.8 e 4.9). Foram verificados teores médios de 62,48 e 46,80 mg dm^{-3} nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, respectivamente, após o final do cultivo de milho em grãos, teores esses, considerados “muito bons” para Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de fósforo no solo acima de 30 mg dm^{-3} .

Em relação aos teores de K nas camadas de 0-0,20 (Tabelas 4.8 e 4.10) e 0,20-0,40 m (Tabelas 4.9 e 4.11) do solo, verificou-se interação significativa entre as doses de gesso e K_2O nos teores desse atributo. Caires et al. (2004), Ramos (2011), Tarsitano (2013) e Vicensi (2015), não observaram efeitos significativos da aplicação do gesso nos teores de potássio nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, provavelmente, devido ao fato dos referidos autores terem estudado apenas doses de gesso, diferentemente do presente estudo, que além de gesso foram avaliadas doses de K_2O , visando o não empobrecimento da camada superficial em K, tendo em vista que o solo da área experimental é de textura média.

O teor de potássio na camada de 0-0,20 m (Tabelas 4.8 e 4.10), aumentou linearmente com a aplicação de até 4.000 e 360 kg ha^{-1} de gesso e K_2O , respectivamente. Esse efeito pode ser atribuído à maior disponibilidade de potássio na referida camada após a percolação de cálcio para camadas mais profundas, o que possibilitou maior distribuição desse nutriente na referida camada.

Na Figura 4.22, verifica-se que a aplicação das doses máximas de gesso e potássio, resultaram no máximo teor de potássio na camada de 0-0,20 m, ou seja, 3,66 mmolc dm^{-3} . Vicensi (2015) verificou teor médio de 3,35 mmolc dm^{-3} na profundidade de 0-0,20 m com

aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso. Ramos (2011) e Tarsitano (2013), relataram 0,54 e 4,90 mmolc dm⁻³ com a aplicação de 3.000 e 4.500 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente.

Assim como na camada de 0-0,20 m, houve interação significativa entre os tratamentos aplicados para o teor de potássio na camada de 0,20-0,40 m (Tabelas 4.9 e 4.11). Contudo, houve redução no teor desse nutriente com a aplicação de até 2.883,87 e 240,96 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, resultando no teor mínimo de 2,06 mmolc dm⁻³ de potássio (Figura 4.23) na referida camada.

$$\hat{Y} = 2,35 + 0,000175 G + 0,00170 K$$

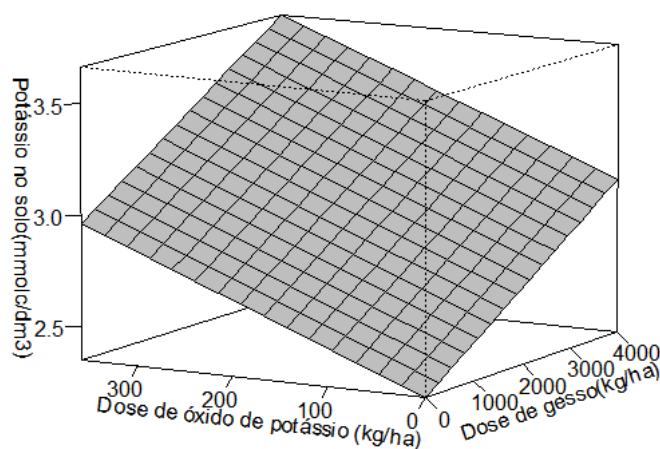


Figura 4.22. Teor de potássio (K) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho em grãos.

$$\hat{Y} = 2,82 - 0,000894 G + 0,0044 K + 0,000000155 G^2 - 0,00000913 K^2$$

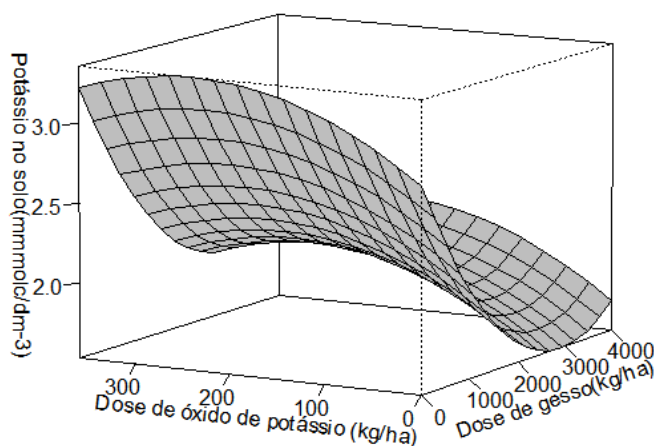


Figura 4.23. Teor de potássio (K) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho em grãos.

Os decréscimos observados para o teor de potássio em relação à aplicação de gesso na camada de 0,20-0,40 m, podem estar relacionados ao aumento de íons cálcio em solução, que por sua vez, deslocam o potássio das cargas elétricas do solo, resultando na formação de

pares iônicos entre K^+ e SO_4^{2-} (RAIJ, 2008), sendo, posteriormente, lixiviados para camadas mais profundas às estudadas, o que não pode ser afirmado com exatidão, visto que, no presente trabalho, verificou apenas os atributos químicos das camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m. Vale ressaltar ainda que, os teores de potássio no solo verificados no presente estudo, são classificados como “muito bom” na camada de 0-0,20 m, ou seja, teor de K no solo acima de $3,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e “bom” na camada de 0,20-0,40 m, teor de K no solo entre $1,8$ a $3,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ segundo Alvarez V. et al. (1999).

O teor de cálcio na camada de 0-0,20 m foi influenciado apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.8 e 4.10). Verificou-se o aumento linear no teor de cálcio na referida camada, com aplicação de até 4.000 kg ha^{-1} de gesso, corroborando com os efeitos observados na camada subsuperficial do solo por Caires et al. (2003, 2004), Zardo Filho (2011), Michalovicz (2012), Chais (2013) e Pauletti et al. (2014) após a aplicação de gesso em cultivo de milho. Importante ressaltar que, o gesso utilizado no presente estudo possuía cerca de 18% de Ca em sua composição, o que justifica os incrementos de Ca verificados na camada de 0-0,20 m, efeito esse, importante na melhoria da fertilidade do solo, como também, para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas.

Com aplicação da dose máxima de gesso, ou seja, 4.000 kg ha^{-1} , verificou-se o teor máximo de $14,90 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio na camada de 0-0,20 m (Figura 4.24-A), teor esse, considerado “médio” para o solo, ou seja, teores de cálcio no solo entre $12,1$ a $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (ALVAREZ V. et al., 1999).

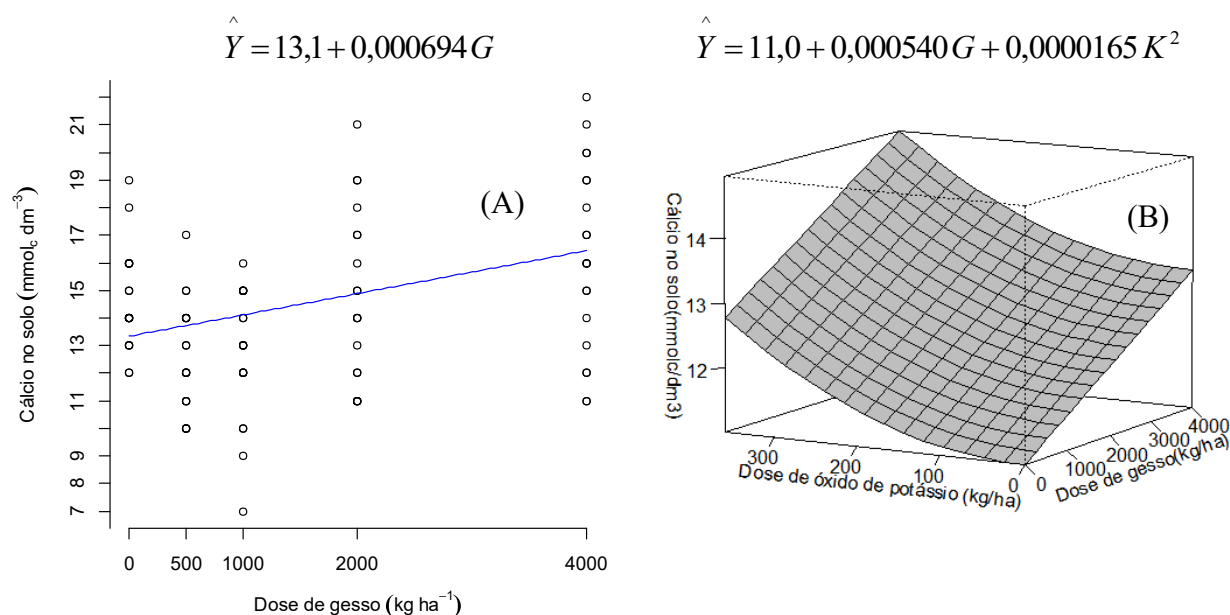


Figura 4.24. Teor de cálcio (Ca) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.

Sousa (2012) avaliando a produtividade de milho e os atributos químicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em função da aplicação de doses de gesso e tipos de cobertura, não observou efeitos significativos da aplicação do gesso para o teor de cálcio, verificando o teor médio de $16,46 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, na camada de 0,05-0,20 m do solo. Tarsitano (2013) avaliando os efeitos da aplicação de diferentes doses de gesso em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa, não observou efeitos significativos da aplicação do gesso para o teor de cálcio na camada de 0-0,20 m do solo após o cultivo de milho, verificando teor médio de cálcio de $44,30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, com aplicação de 4.500 kg ha^{-1} de gesso, teor esse, superior quando comparado ao do presente estudo.

Na camada de 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.9 e 4.11), verificou-se interação significativa entre os fatores avaliados para o teor de cálcio (Figura 4.24-B). Contudo, o máximo teor de cálcio ($15,30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) verificado com as doses máximas de gesso e potássio, está próximo ao observado na camada de 0-0,20 m ($14,90 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), o que provavelmente está relacionado à alta mobilidade do par iônico CaSO_4^0 no perfil do solo, o que consequentemente, aumenta a disponibilidade de cálcio em profundidade. Diversos estudos têm demonstrado o aumento no teor de cálcio em profundidade (CAIRES et al., 1998; LEAL et al., 2012; MICHALOVICZ, 2012; MEERT, 2013; RAMOS et al., 2013), efeito atribuído, principalmente, à lixiviação desse cátion pela formação do par iônico CaSO_4^0 para camadas mais profundas.

Em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Pauletti et al. (2014), não observaram efeitos significativos da aplicação do gesso agrícola na camada de 0,20-0,40 m do solo, verificando teor médio de $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio na respectiva camada, com aplicação de até $12.000 \text{ kg ha}^{-1}$ de gesso. Os autores atribuíram esse resultado à baixa mobilidade do cálcio no perfil naquele solo, tendo em vista que o cálcio acumulou-se na camada de 0-0,10 m ($28,00 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio), efeito esse, provocado pela retenção desse nutriente nas cargas negativas das argilas e da matéria orgânica (VITTI et al., 2006). Somavilla (2014) avaliando doses crescentes de gesso em Latossolo Vermelho distrófico no cultivo de milho, observou aumento nos teores de cálcio em profundidade com aplicação de 0 a 6.000 kg ha^{-1} de gesso, verificando teores entre 25 a $35 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio na camada de 0,20-0,40 m.

Vale ressaltar que a resposta ao aumento no teor de cálcio mediante à aplicação de gesso, depende de vários fatores, entre eles o tipo e o manejo do solo. Em relação ao aumento no teor de cálcio no solo em resposta à aplicação de potássio (Figura 4.24-B), o mesmo pode

estar relacionado ao deslocamento desse elemento das cargas elétricas negativas da solução do solo após a aplicação de K, o que proporcionou aumento na atividade de K no solo (ERNANI & BARBER, 1993).

Os teores de magnésio nas camadas de 0-0,20 (Tabelas 4.8 e 4.10) e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.9 e 4.11), foram influenciados significativamente apenas em função da aplicação do gesso, verificando-se redução nos teores desse nutriente nas referidas camadas (Figuras 4.25-A e 4.25-B) com o aumento da aplicação desse resíduo.

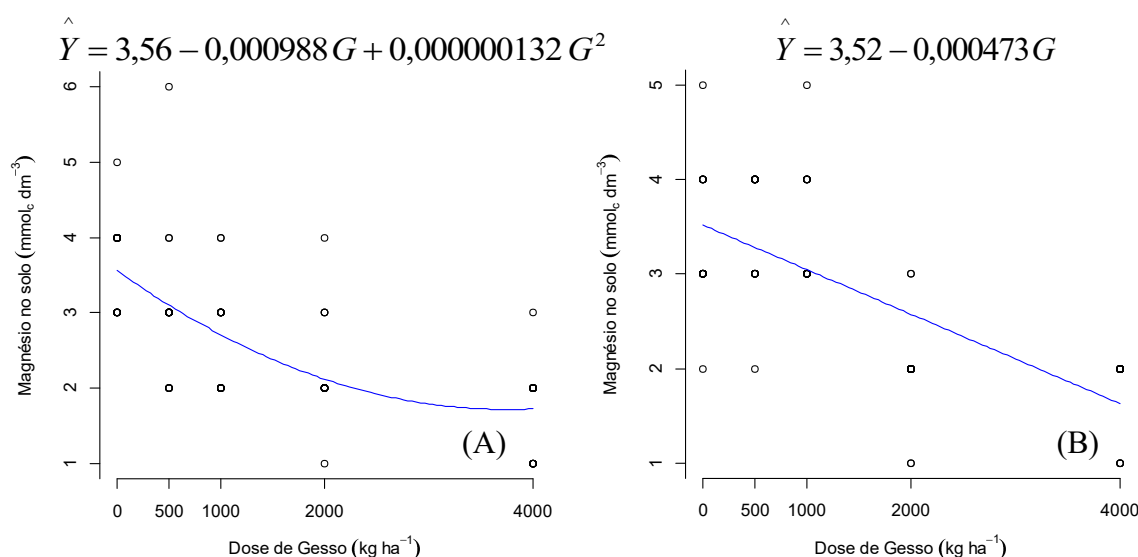


Figura 4.25. Teor de magnésio (Mg) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

Quaggio et al. (1982), Silva et al. (1997), Caires et al. (1998, 1999, 2003, 2004, 2006), Soratto & Crusciol (2008), Maschietto (2009), Rampim et al. (2011), Serafim et al. (2012), Nava et al. (2012) e Ramos et al. (2013), também observaram redução no teor de magnésio no solo em função da aplicação do gesso. Segundo Zambrosi et al. (2007) e Somavilla (2014), a redução no teor de magnésio no solo em resposta à aplicação do gesso, pode estar relacionado ao aumento de íons cálcio no solo após a dissociação do gesso, o que favorece o deslocamento de íons magnésio dos sítios de troca, formando pares iônicos com o ânion sulfato (MgSO_4^0), sendo posteriormente, lixiviado para camadas mais profundas.

Na profundidade de 0-0,20 m (Figura 4.25-A), o teor de magnésio no solo reduziu com aplicação de até 3.742,42 kg ha⁻¹ de gesso, verificando-se os teores máximo e mínimo de 3,56 e 1,71 mmol_c dm⁻³ de Mg com aplicação das doses 0 e 3.742,42 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente. Caires et al. (2004) ao avaliarem os atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa em resposta à aplicação de calcário e gesso no cultivo

de milho, observaram redução nos teores de magnésio nas camadas de 0-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m do solo com aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso, verificando para essas camadas, respectivamente, 29,00; 22,00; e, 19,00 mmol_c dm⁻³ de Mg. Em um Latossolo Vermelho distroférico, Soratto & Crusciol (2008), verificaram teores entre 5 a 10 mmol_c dm⁻³ de Mg com aplicação de 2.100 kg ha⁻¹ de gesso, seis meses após a aplicação desse resíduo.

O teor de magnésio na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.25-B) reduziu linearmente com a aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, verificando-se os teores máximo e mínimo de 3,52 e 1,63 mmol_c dm⁻³ com aplicação das doses 0 e 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente. Meert (2013), não observou efeitos significativos da aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso na camada de 0,20-0,40 m em Latossolo Bruno distrófico no cultivo de milho, verificando o teor de 36,70 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺ após cinco meses da aplicação do gesso. Caires et al. (2004) verificaram o teor de 16,00 mmol_c dm⁻³ de Mg na camada de 0,20-0,40 m do solo com aplicação de 3000 kg ha⁻¹ de gesso, contudo, os autores não observaram efeitos significativos da aplicação do gesso para os teores de magnésio nessa camada.

Ao comparar os teores de Mg²⁺ verificados no presente estudo nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, com os relatados por Caires et al. (2004), Soratto & Crusciol (2008) e Meert (2013), nota-se que os mesmos são inferiores, o que pode estar relacionado à diversos fatores, entre eles, o tipo de solo e preparo da área experimental, tempo de reação do gesso e amostragem de solo, ocorrência de precipitações durante o cultivo do milho, acidez do solo, entre outros. Segundo orientações técnicas apresentadas pela Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – 5ª Aproximação (ALVAREZ V. et al., 1999), os teores de magnésio verificados no presente estudo classificam-se como “baixos”, ou seja, teores de magnésio no solo entre 1,6 a 4,5 mmol_c dm⁻³.

Para o teor de alumínio na camada de 0-0,20 m não foi verificado efeito significativo da aplicação do gesso ou potássio no teor desse atributo (Tabela 4.8), diferentemente dos resultados apresentados por Vilela et al. (2010), Rampim et al. (2011) e Michalovicz (2012). Um dos principais benefícios da aplicação do gesso na agricultura, é na redução do alumínio trocável (Al³⁺) no solo, que de certa forma, é tóxico às plantas. Após a dissolução do gesso no solo, ocorrem trocas iônicas entre íons Al³⁺ e Ca²⁺, favorecendo o deslocamento do alumínio para a solução do solo, o qual pode-se ligar ao ânion sulfato (SO₄²⁻) e formar pares iônicos ou complexos (AlSO₄⁺) que serão lixiviados, posteriormente, para camadas mais profundas no solo (Pavan et al., 1984).

No presente trabalho, esperava-se que houvesse redução significativa no teor de alumínio em todo o perfil do solo estudado após a adição de gesso, sobretudo em profundidade, pois o gesso é condicionador de subsuperfície para crescimento radicular, verificando-se teor médio de $3,81 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ de alumínio na camada de 0-0,20 m. Contudo, esse efeito só foi observado na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.26).

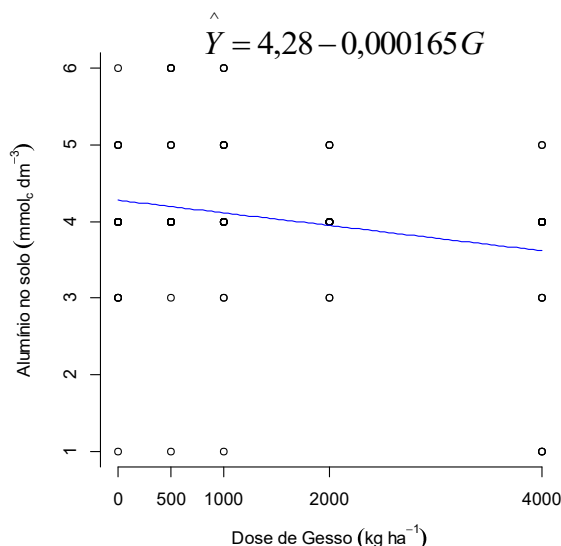


Figura 4.26. Teor de alumínio (Al) na camada 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

A aplicação de gesso resultou na redução do teor de alumínio apenas na camada de 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.9 e 4.11), cujos teores, reduziram linearmente com a aplicação do gesso. A redução dos teores de alumínio no solo em resposta à aplicação do gesso, também foi verificada nos trabalhos de Souza et al. (1996), Caires et al. (1998), Rampim et al. (2013) e Nora et al. (2014). Essa redução, indica a possível ação do gesso em converter o alumínio tóxico em compostos mais estáveis (AlSO_4^0 , AlSO_4^+) no solo, que são formas menos tóxicas às plantas.

Para Sousa et al. (2007), a redução nos teores de alumínio no solo pela ação do gesso, pode ocorrer ainda em função da formação do par iônico AlF_2^+ proveniente da presença de flúor no gesso agrícola; precipitação de minerais de alumínio, como alunita e basaluminita, por exemplo, em resposta ao aumento da concentração de sulfato na solução; e, pelo aumento da força iônica na solução do solo, o que causa a diminuição da atividade química do alumínio.

Na Figura 4.26, observa-se que o teor mínimo de alumínio verificado na camada de 0,20-0,40 m foi de $3,62 \text{ mmol}_e \text{ dm}^{-3}$ com aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Nora et al. (2014) avaliando a influência de doses de gesso combinado com calcário sobre os

atributos químicos de um Latossolo Vermelho Distrófico e a produtividade de milho, verificaram $24,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para o teor de alumínio na camada de 0,25-0,40 m do solo após a aplicação de 5.000 kg ha^{-1} de gesso + 2.000 kg ha^{-1} de calcário, teor esse, superior ao verificado no presente trabalho.

Pauletti et al. (2014) relataram teor médio de $11,00 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Al^{3+} na camada de 0,20-0,40 m, contudo, os teores desse nutriente não foram alterados pela aplicação do gesso após 36 meses. Rampim et al. (2013) avaliando os atributos químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico em resposta à aplicação de doses crescentes de gesso, verificaram redução nos teores de alumínio nas camadas de 0-0,10 e 0,20-0,40 m do solo, relatando ponto mínimo de 3,9 e $5,96 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, para o teor de Al^{3+} nas camadas de 0-0,10 e 0,20-0,40 m com aplicação de 2.500 e 3.300 kg ha^{-1} de gesso, seis meses após a aplicação desse resíduo no solo. Vale ressaltar ainda que, os teores de alumínio verificados no presente estudo são classificados como “baixos” segundo Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de alumínio no solo entre 2,1 a $5,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A acidez potencial (H+Al) na camada de 0-0,20 m do solo foi influenciada apenas pela aplicação do gesso (Tabela 4.8 e 4.10), destacando-se o efeito positivo da utilização desse resíduo, após cinco meses de aplicação no solo. Contudo, estes resultados são diferentes dos relatados por Caires et al. (2004), Foloni et al. (2008) e Meert (2013) em estudos conduzidos com aplicação de gesso em cultivo de milho.

Na camada de 0-0,20 m a H+Al reduziu linearmente com a aplicação de até 4.000 kg ha^{-1} de gesso, verificando-se teor mínimo de $20,82 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para esse atributo (Figura 4.27) com a dose máxima de gesso, teor esse, considerado “baixo” ($10,1$ a $25,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) para o solo, segundo Alvarez V. et al. (1999).

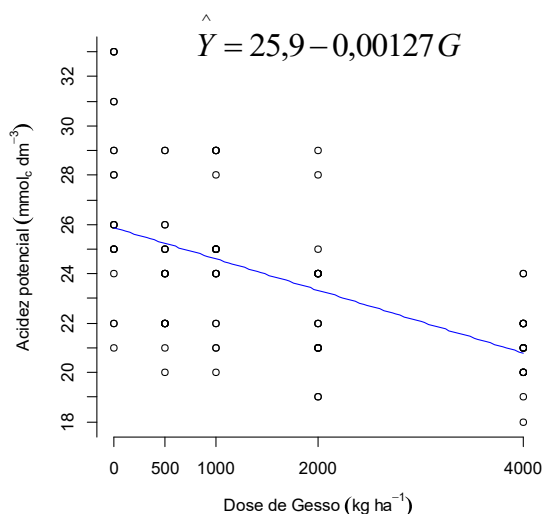


Figura 4.27. Acidez potencial (H+Al) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

A acidez potencial na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 4.9), não foi influenciada significativamente pela aplicação de gesso e potássio, corroborando com os efeitos observados por Meert (2013), quanto à aplicação de gesso. O valor médio verificado para esse atributo na referida camada foi de $20,37 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valor considerado “baixo” para o solo, ou seja, dentro da faixa de $10,1$ a $25,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (ALVAREZ V. et al., 1999).

A soma de bases (SB) na camada de 0-0,20 m do solo, não foi influenciada significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.8), verificando-se teor médio de $19,95 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para esse atributo na referida camada. Com aplicação do gesso e potássio, deveria haver maior concentração de cálcio e potássio nessa camada, o que influenciaria, possivelmente, nos valores de SB. Contudo, só foram observadas respostas significativas para a soma de bases na camada de 0,20-0,40 m do solo (Figura 4.28), reforçando a possível percolação de cálcio e potássio em profundidade.

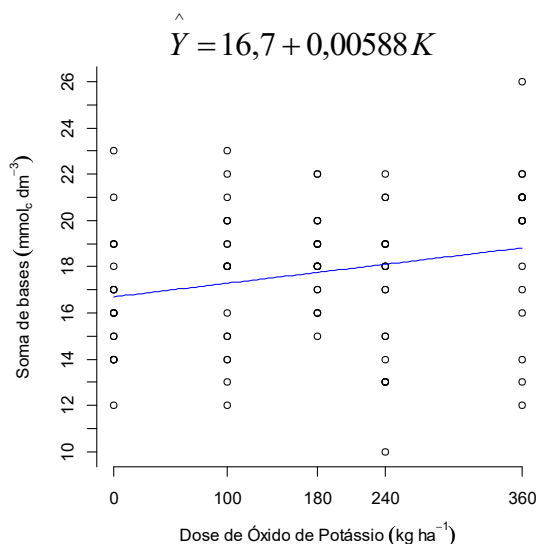


Figura 4.28. Soma de bases (SB) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de milho em grãos.

Na camada de 0,20-0,40 m, a soma de bases (SB) foi influenciada significativamente apenas pela aplicação de K_2O (Tabela 4.9 e 4.11). Na Figura 4.28, verifica-se incrementos de $0,00588 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no valor desse atributo a cada quilograma de K_2O adicionado ao solo, o que resultou no valor máximo de $18,82 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a SB na camada de 0,20-0,40 m, valor esse, verificado com a aplicação de 360 kg ha^{-1} de K_2O . Esse aumento na soma de bases em resposta à aplicação de potássio, está relacionado à maior disponibilidade desse cátion na camada de 0,20-0,40 m, o que pode ser atribuído em parte, à percolação de potássio (Figura 4.22) ocorrida na camada de 0-0,20 m. Para Alvarez V. et al. (1999), os valores de SB

verificados no presente estudo são classificados como “médios”, ou seja, valores de SB no solo entre 18,1 a 36,0 mmol_c dm⁻³.

A capacidade de troca catiônica calculada (CTC) na profundidade de 0-0,20 m do solo, reduziu linearmente com aplicação da dose máxima de gesso (Tabelas 4.8 e 4.10), corroborando com o trabalho de Souza et al. (2012). Entretanto, Foloni et al. (2008), relataram aumento na CTC do solo na camada de 0-0,20 m em função de doses crescentes de gesso em Argissolo Vermelho distroférico. A redução da CTC calculada observada no presente estudo, pode ser atribuída à lixiviação de cátions da camada de 0-0,20 m, que após reagirem com o ânion sulfato liberado na dissociação do gesso, formaram compostos estáveis, que por sua vez, não são absorvidos pelas plantas, sendo, posteriormente, carregados para camadas mais profundas no perfil do solo.

A máxima (44,90 mmol_c dm⁻³) e mínima (41,22 mmol_c dm⁻³) CTC calculada do solo na camada de 0-0,20 m (Figura 4.29-A) foi verificada com as doses 0 e 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente. Em Latossolo Vermelho distroférico, Souza et al. (2012), verificaram 125,40 mmol_c dm⁻³ para a CTC do solo na camada de 0-0,20 m com aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de gesso.

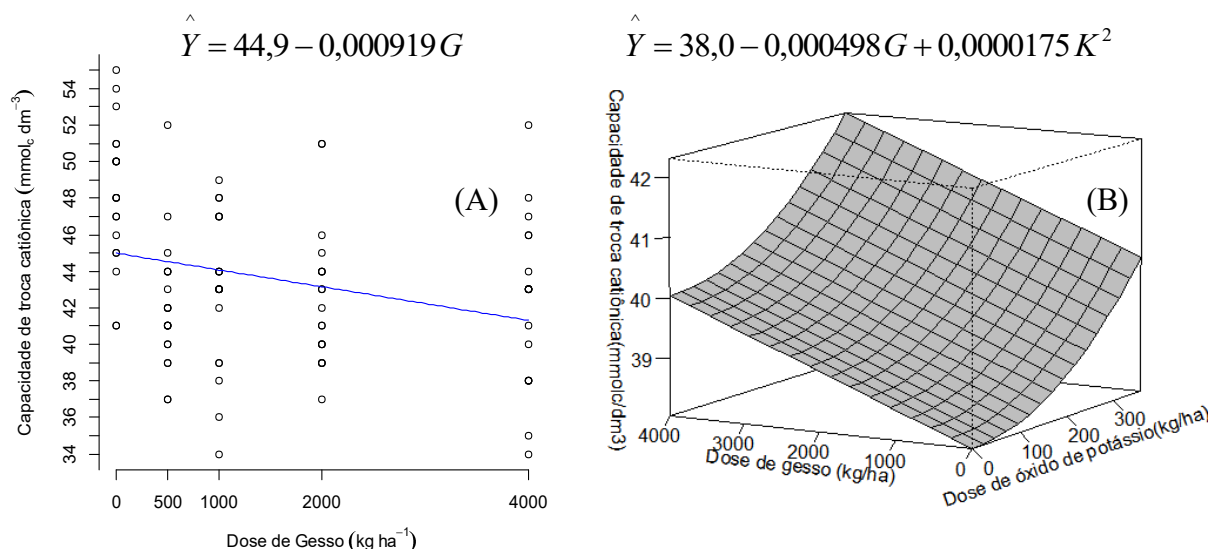


Figura 4.29. CTC calculada nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.

Na camada de 0,20-0,40 m do solo, verificou-se interação significativa entre as doses de gesso e potássio para a CTC calculada do solo (Tabela 4.9 e 4.11), a qual respondeu de maneira quadrática à aplicação dos tratamentos. Na Figura 4.29-B, observa-se que houve redução na CTC do solo com a elevação das doses de gesso, evidenciando o possível arraste de cátions para as camadas mais profundas às estudadas. Com a aplicação das doses 0 e

360 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, verificou-se o maior valor de CTC calculada na profundidade de 0,20-0,40 m, 40,27 mmol_c dm⁻³

Para a saturação por bases (V%) na camada de 0-0,20 m não foi observada resposta significativa para seus valores em função da aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.8), verificando-se valor médio de 45,15% para V% na referida camada, sendo esse valor, classificado como “médio” segundo Alvarez V. et al. (1999) (40,1 a 60,0% para V% no solo). Assim como observado para a soma de bases na camada de 0-0,20 m (Tabela 4.8), com aplicação de gesso e K₂O, deveria haver maior concentração desses nutrientes nessa camada, o que influenciaria, possivelmente, nos valores de V% na camada de 0-0,20 m. Entretanto, só foi observada resposta significativa para esse atributo na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.30), reforçando a possível percolação de cálcio e potássio em profundidade.

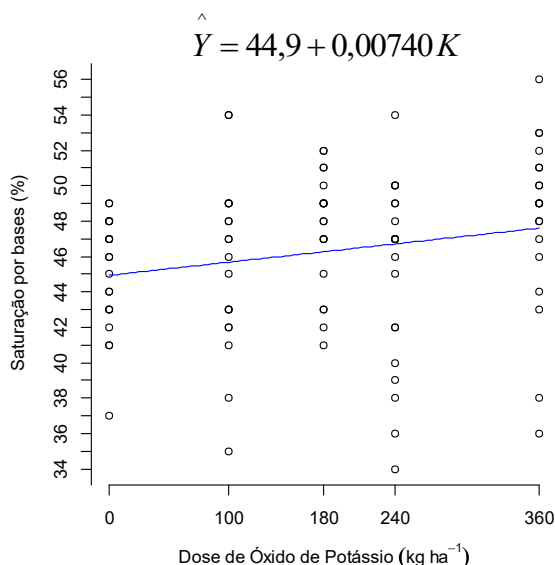


Figura 4.30. Saturação por bases (V%) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de milho em grãos.

Em relação à saturação por bases (V%) na camada de 0,20-0,40 m, foram observados apenas efeitos significativos da aplicação das doses de potássio nos valores desse atributo (Tabela 4.9 e 4.11). Doses crescentes de K₂O promoveram aumento linear nessa variável, resultando na máxima saturação por bases na referida profundidade, ou seja, 47,56% (Figura 4.30), saturação classificada como “média” (Alvarez V. et al., 1999). Esse aumento é justificado pela adição direta de K no solo, que após ter sido aplicado superficialmente e incorporado por gradagem, movimentou-se para as camadas mais internas pelo processo de lixiviação em função da textura do solo (média), pela ação do gesso ou, pelas precipitações que ocorreram durante o cultivo do milho seco.

A aplicação do gesso resultou no aumento dos teores de enxofre nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.8 e 4.10), o que está relacionado à maior disponibilidade de enxofre no perfil do solo, visto que o gesso utilizado, apresentava 15% de enxofre em sua composição. O aumento no teor de enxofre em resposta à aplicação do gesso nas camadas estudadas, corrobora com os trabalhos de Caires et al. (1998; 1999; 2003; 2004), Rampim (2008), Costa (2011), Tarsitano (2013), Meert (2013), Somavilla (2014) e Pauletti et al. (2014).

Na Figura 4.31-A, verifica-se aumento linear no teor de enxofre na camada de 0-0,20 m com aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, o que resultou no máximo teor de 17,26 mg dm⁻³ de S no perfil de 0-0,20 m do solo, teor esse, considerado alto para Raij et al. (1997), ou seja, teores de enxofre no solo acima de 10 mg dm⁻³. Em Latossolo Bruno distrófico, Meert (2013), verificou teores de 23,42 e 30,45 mg dm⁻³ de S, respectivamente, nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m aplicando 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Pauletti et al. (2014) verificaram aumento no teor de enxofre na camada de 0-0,20 m de um Latossolo Vermelho-Amarelo, em resposta à aplicação crescente de gesso agrícola (0; 1,5; 3,0; 6,0; e 12.000 kg ha⁻¹), relatando teores entre 5 a 20,00 mg dm⁻³ de S na camada de 0-0,20 m. Somavilla (2014) observou aumento nos teores de enxofre de um Latossolo Vermelho distrófico com aplicação crescentes de gesso, verificando teores entre 8 a 12,50 mg dm⁻³ de S na camada de 0-0,20 m, com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso.

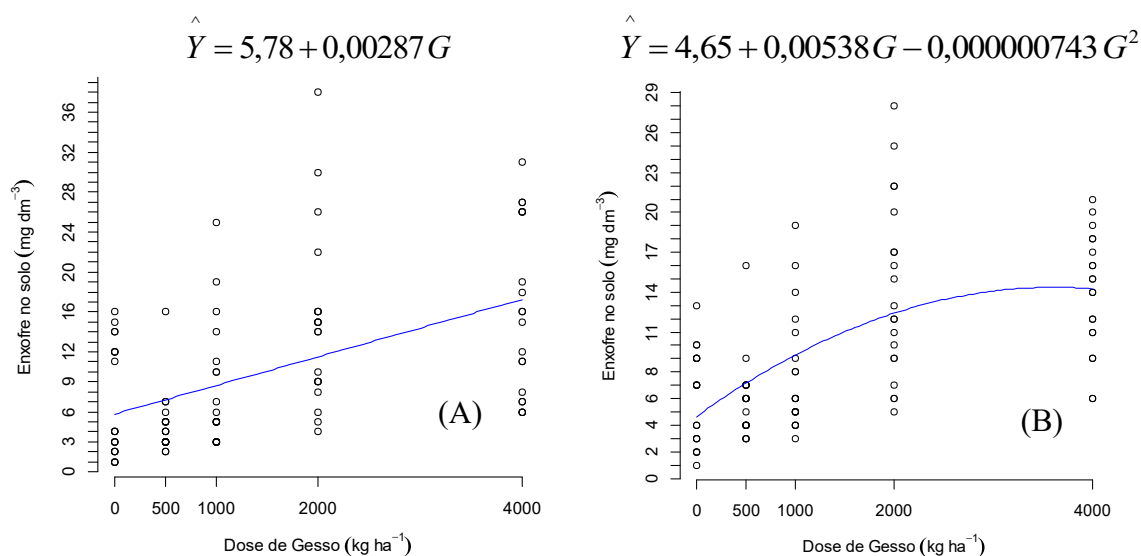


Figura 4.31. Teor de enxofre (S) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

Na profundidade de 0,20-0,40 m (Tabelas 4.9 e 4.11), o gesso elevou os teores de enxofre com a aplicação de até 3.620,45 kg ha⁻¹ (Figura 4.31-B), sendo que, a aplicação de

doses de gesso acima desse valor, não promoveram acréscimos nos teores de enxofre na camada de 0,20-0,40 m do solo. O teor máximo de enxofre verificado na camada de 0,20-0,40 m com 3.620,45 kg ha⁻¹ de gesso foi de 14,40 mg dm⁻³, teor esse, considerado “alto” para o solo (RAIJ et al., 1997). Contudo, o teor de enxofre verificado na camada de 0,20-0,40 m é inferior aos relatados por Meert (2013), 27,11 mg dm⁻³ de enxofre na camada de 0,20-0,40 m do solo com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso e Tarsitano (2013), 39,40 mg dm⁻³ de enxofre no perfil de 0,20-0,40 m do solo após a aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Vale ressaltar que o teor de enxofre no solo pode variar em função do tipo de solo e, principalmente, em função do manejo e dos fertilizantes empregados na adubação das culturas.

Para o teor de boro nas camadas de 0-0,20 (Tabelas 4.8 e 4.10) e 0,20-0,40 m (Tabelas 4.9 e 4.11) do solo, foi verificado apenas efeito significativo da aplicação do gesso. Na camada de 0-0,20 m, observou-se ajuste quadrático da aplicação desse resíduo para o teor de boro, verificando-se o teor máximo de 0,25 mg dm⁻³ com aplicação de 951,61 kg ha⁻¹ de gesso (Figura 4.32-A). Em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, Ramos (2011), não observou efeitos significativos da aplicação de doses crescentes de gesso no cultivo de cana-de-açúcar, verificando com aplicação de 8.000 kg ha⁻¹ de gesso, o teor médio de 0,65 mg dm⁻³ de B na camada de 0-0,20 m.

$$\hat{Y} = 0,236 + 0,0000236 G - 0,0000000124 G^2$$

$$\hat{Y} = 0,215 + 0,0000870 G - 0,00000002 G^2$$

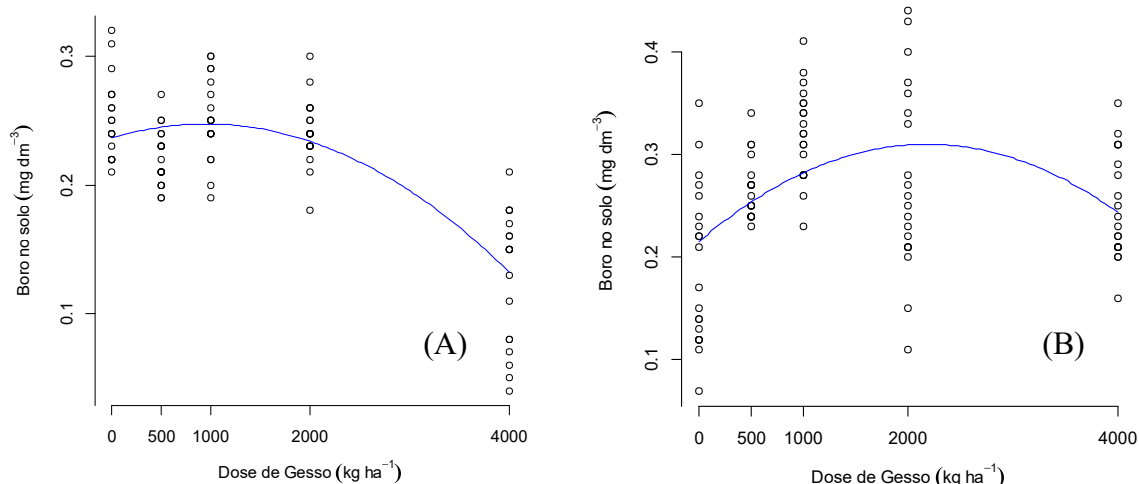


Figura 4.32. Teor de boro (B) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

Assim como verificado na camada de 0-0,20 m, houve ajuste quadrático das doses de gesso para o teor de boro na profundidade de 0,20-0,40 m (Tabela 4.11). Contudo, verificou-se acréscimos nos teores desse nutriente na camada de 0,20-0,40 m do solo com aplicação de até 2.175 kg ha⁻¹ de gesso, resultando no máximo teor desse nutriente, ou seja,

0,31 mg dm⁻³ de boro na respectiva camada (Figura 4.32-B). Ramos (2011) relatou teor médio de 0,64 mg dm⁻³ de boro na camada de 0,20-0,40 m em resposta à aplicação de 8.000 kg ha⁻¹ de gesso, em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, no cultivo de cana-de-açúcar.

O aumento no teor de boro na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.32-B) quando comparado ao teor observado na camada de 0-0,20 m (Figura 4.32-A), pode ser atribuído à lixiviação de B da camada superficial pela ação do gesso, visto que, o solo da área experimental, apresentava textura média, o que de certa forma, proporciona a percolação de nutrientes para as camadas mais profundas do solo, o que resultou em teores de boro considerados “baixos” segundo Alvarez V. et al. (1999), 0,16 a 0,35 mg dm⁻³ de boro.

Os teores de cobre no perfil de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo não foram influenciados significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabelas 4.8 e 4.9) verificando-se teores médios de 0,60 e 0,74 mg dm⁻³ nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente. Ramos (2011) também não observou efeitos significativos da aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso para os teores de cobre no solo, relatando teores médios 0,49 e 0,54 mg dm⁻³ para esse nutriente nas respectivas camadas. Em adição, Tarsitano (2013), também não observou efeitos significativos para o teor de cobre no solo após a aplicação de 4.500 kg ha⁻¹ de gesso. No presente estudo, os teores de cobre verificados nas camadas estudadas são classificados como “baixos”, ou seja, teores de cobre no solo entre 0,4 a 0,7 mg dm⁻³ (ALVAREZ V. et al., 1999).

O teor de ferro na profundidade de 0-0,20 m do solo (Tabela 4.8 e 4.10), reduziu linearmente com aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, resultando no teor mínimo de 36,42 mg dm⁻³ de ferro na referida camada (Figura 4.33).

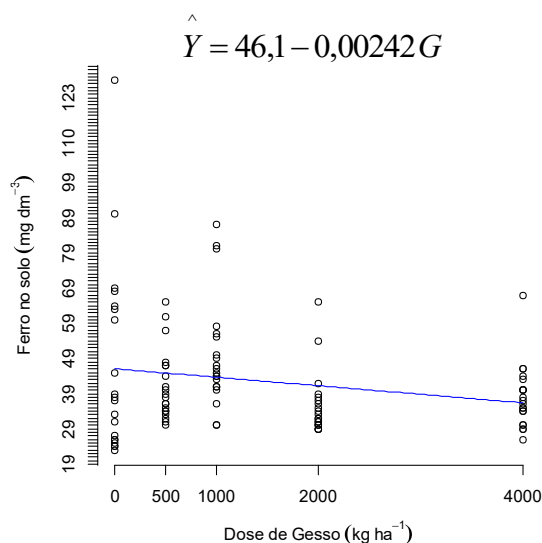


Figura 4.33. Teor de ferro (Fe) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

O comportamento observado para ferro na respectiva camada, em função da aplicação do gesso, pode ser atribuído à formação de complexos entre os íons Fe^{2+} e SO_4^{2-} (FeSO_4^0) presente no solo, o que proporcionou o arraste desse nutriente para camadas mais profundas do solo, que apresentava textura média, incapaz de reter considerável número de cargas positivas. Contudo, o teor mínimo de ferro verificado no presente estudo é classificado como “bom” segundo Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de ferro no solo entre 31 a 45 mg dm^{-3} . Ramos (2011) não evidenciou efeitos significativos da aplicação de até 8.000 kg ha^{-1} de gesso nos teores de ferro no solo, relatando teor médio de 10,43 mg dm^{-3} de ferro no perfil de 0-1,0 m. Importante ressaltar ainda que, a disponibilidade de nutrientes no solo, como o ferro, pode variar de acordo com a acidez do solo, que atua na solubilidade e, consequentemente, na disponibilidade dos mesmos.

Para o teor de ferro na camada de 0,20-0,40 m (Tabela 4.9), não foram verificados efeitos significativos da aplicação do gesso ou potássio nos teores desse atributo, verificando-se teor médio de 37,65 mg dm^{-3} de ferro na referida camada, teor esse, considerado “médio” segundo Alvarez V. et al. (1999).

Em relação o teor de manganês na camada de 0-0,20 m, foi observado apenas o efeito significativo da aplicação do gesso (Tabelas 4.8 e 4.10). Na Figura 4.34, verifica-se que houve redução linear no teor desse nutriente na respectiva camada, com aplicação de até 4.000 kg ha^{-1} de gesso, sendo estes resultados diferentes dos verificados por Ramos (2011), que observou aumento no teor desse nutriente na camada de 0-0,20 m com aplicação de até 6.000 kg ha^{-1} de gesso.

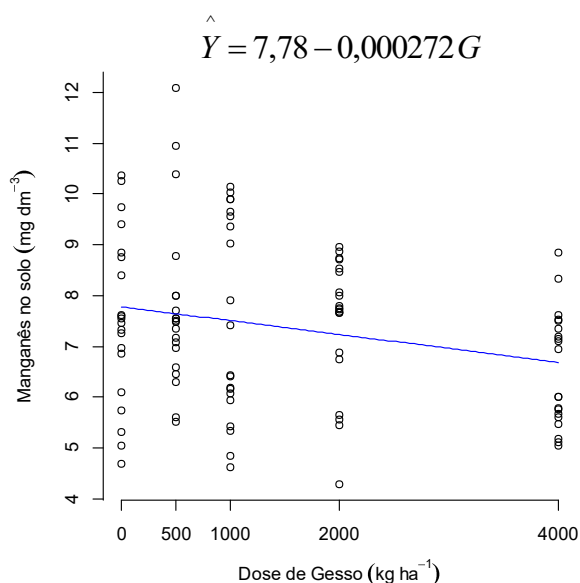


Figura 4.34. Teor de manganês (Mn) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

Com a aplicação das doses 0 e 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente, verificou-se os teores máximo e mínimo de 7,78 e 7,00 mg dm⁻³ de Mn na camada de 0-0,20 m. Ramos (2011) relatou 2,1 mg dm⁻³ de manganês na profundidade de 0-0,20 m em função da aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Tarsitano (2013) verificou teor médio de 77,50 mg dm⁻³ de Mn na camada de 0-0,20 m em um Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, aplicando 4.500 kg ha⁻¹ de gesso, contudo, o gesso aplicado não influenciou significativamente no teor desse nutriente. O efeito decrescente do gesso para os teores de manganês do solo no presente estudo (Figura 4.34), pode estar relacionado a percolação desse nutriente no solo, após a formação de complexos entre os íons manganês (Mn²⁺) e sulfatos (SO₄²⁻). Vale ressaltar ainda, que a textura média do solo, associada às precipitações durante o ciclo da cultura, devem ter contribuído para o deslocamento de manganês no perfil do solo.

Na profundidade de 0,20-0,40 m do solo, não foram observados efeitos significativos da aplicação das doses de gesso e potássio para os teores de manganês (Tabela 4.9), verificando-se teor médio de 6,16 mg dm⁻³ para esse nutriente. Segundo Alvarez V. et al. (1999), os teores de manganês verificados nas camadas estudadas são classificados como “médios”, ou seja, teores de manganês no solo entre 6 a 8 mg dm⁻³.

Em relação aos teores de zinco nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m (Tabelas 4.8 e 4.9) do solo, a aplicação das doses de gesso e potássio não influenciaram significativamente nos teores desse nutriente, corroborando com Ramos (2011) quanto ao uso do gesso agrícola. Os teores médios de zinco observados nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m no presente estudo, foram de 2,27 e 1,68 mg dm⁻³, respectivamente, teores considerados “bons” segundo Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de zinco no solo entre 1,6 a 2,2 mg dm⁻³.

A relação Ca/Mg na camada de 0-0,20 m foi influenciada significativamente apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.8 e 4.10), o que é atribuído ao aumento de cálcio na respectiva camada (Figura 4.24-A) após a dissolução do gesso, visto que, o gesso utilizado no presente trabalho apresentava 18% de cálcio em sua composição. Caires et al. (1999) observaram aumento na relação Ca/Mg nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m após a gessagem em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. Ramos (2011) também observou aumento na relação Ca/Mg na camada de 0-0,20 m após a aplicação de gesso.

Na Figura 4.35-A, a máxima relação Ca/Mg (10,14) na profundidade de 0-0,20 m foi verificada com a dose máxima de gesso, ou seja, 4.000 kg ha⁻¹. Ramos (2011) verificou 8,52

para essa relação na camada 0-0,20 m, aplicando 4.000 kg ha⁻¹ de gesso em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

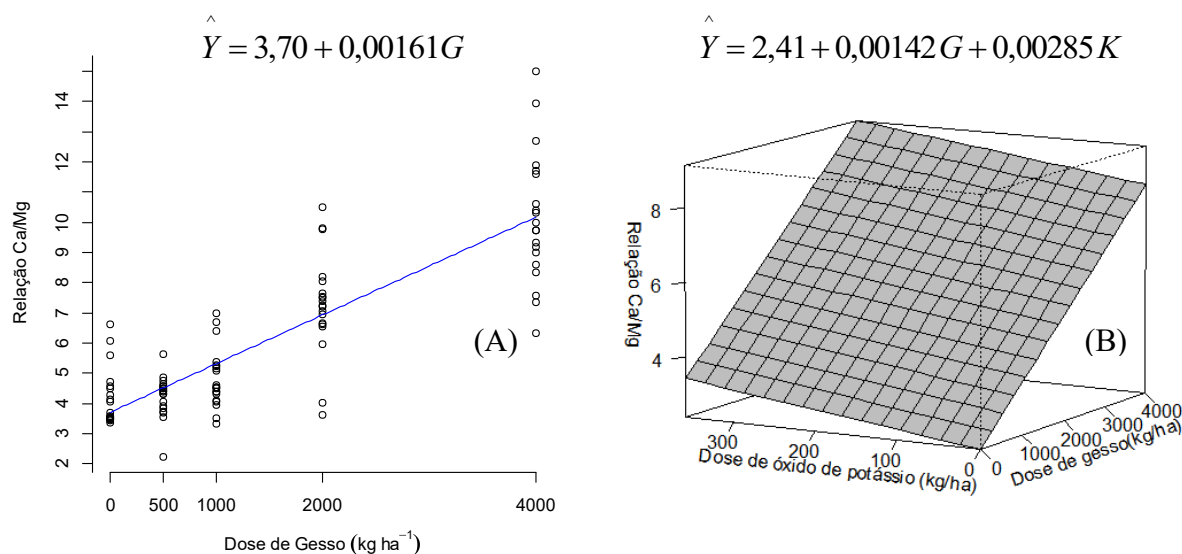


Figura 4.35. Relação Ca/Mg nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.

Na profundidade de 0,20-0,40 m houve interação significativa entre os fatores avaliados para a relação Ca/Mg (Tabelas 4.9 e 4.11), a qual aumentou linearmente em resposta à elevação das doses de gesso e potássio aplicadas ao solo (Figura 4.35-B). Caires et al. (1999), Saldanha et al. (2007), Ramos (2011) e Vicensi (2015), também observaram aumento na relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m do solo em estudos com gesso. Esse aumento na relação Ca/Mg com aplicação do gesso, é atribuído à adição direta de cálcio na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.24-B) do solo após a solubilização desse resíduo, a qual, resultou no aumento da concentração de íons cálcio em relação aos de magnésio, possibilitando o aumento nessa relação.

A máxima relação Ca/Mg (9,11) na camada de 0,20-0,40 m foi verificada com as doses máximas de gesso e potássio, respectivamente (Figura 4.35-B). Ramos (2011) verificou 3,73 para a relação Ca/Mg na profundidade de 0,20-0,40 m aplicando 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Em Latossolo Bruno Distrófico, Vicensi (2015), relatou 2,78 para a relação Ca/Mg na profundidade de 0,20-0,40 m do solo com 3.000 kg ha⁻¹ de gesso.

Na profundidade de 0-0,20 m a relação Ca/K foi influenciada significativamente apenas em resposta à aplicação das doses de K₂O (Tabelas 4.8 e 4.10). Na Figura 4.36-A, observa-se redução na relação Ca/K com aplicação de até 225,90 kg ha⁻¹ de potássio, quando verificou-se a menor relação Ca/K (4,54), o que pode ser atribuído à maior concentração de

íons K^+ (Figura 4.22) na camada de 0-0,20 m do solo em comparação aos de cálcio (Figura 4.24-A).

$$\hat{Y} = 6,39 - 0,0164K + 0,0000363K^2$$

$$\hat{Y} = 4,85 + 0,000827G - 0,011K + 0,0000267K^2$$

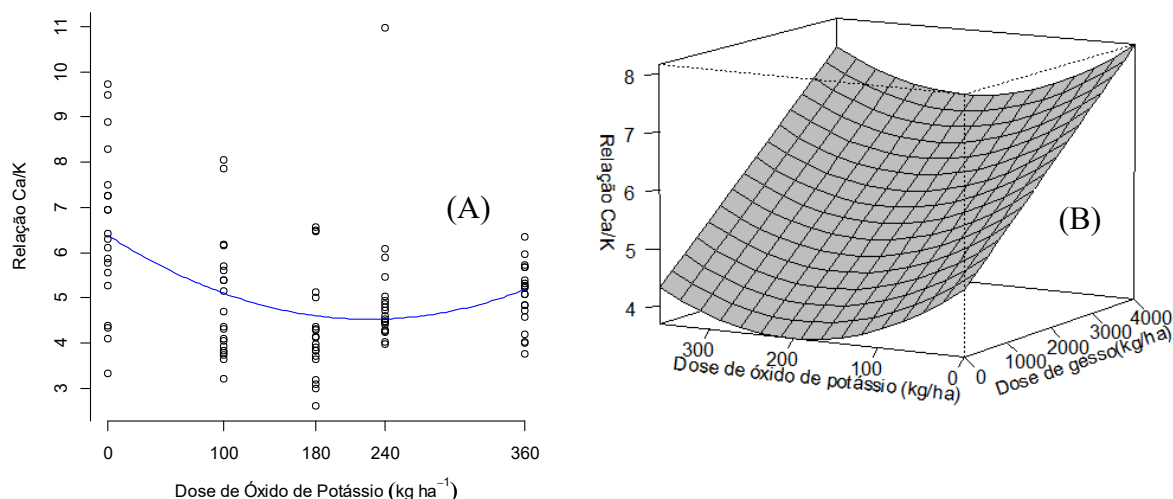


Figura 4.36. Relação Ca/K nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de potássio (A) e gesso e potássio (B) em cultivo de milho em grãos.

Para a relação Ca/K na camada de 0,20-0,40 m foi verificada interação significativa entre as doses de gesso e potássio (Tabela 4.9 e 4.11). Na Figura 4.36-B, verifica-se aumento dessa relação com o aumento da aplicação de gesso, o que é atribuído à maior concentração de íons cálcio, carregados da camada de 0-0,20 m para a camada de 0,20-0,40 m. Porém, observa-se ainda na Figura 4.36-B, que a aplicação de doses crescentes de potássio, reduziram os teores dessa relação com aplicação de até 206 kg ha⁻¹ de K₂O, elevando-se, posteriormente, com doses superiores a 206 kg ha⁻¹ de K₂O. Em função da aplicação de 4.000 e 206 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, verificou-se a mínima relação Ca/K na profundidade de 0,20-0,40 m, ou seja, 7,02.

As doses de gesso e potássio influenciaram significativamente a relação Mg/K na camada de 0-0,20 m do solo (Tabelas 4.8 e 4.10). Verifica-se na Figura 4.37, redução na relação Mg/K com aplicação de até 3.703,70 e 228,97 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente. A redução na relação Mg/K em resposta à aplicação das doses crescentes de gesso e potássio é atribuída à maior disponibilidade de potássio (Figura 4.22) e cálcio (Figura 4.24-A) em comparação ao magnésio na camada de 0-0,20 m (Figura 4.25-A). Os teores máximo e mínimo verificados para a relação Mg/K na profundidade de 0-0,20 m foram de 1,69 e 0,37 com as doses 0 e, 3.703,70 e 228,97 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente.

Na profundidade de 0,20-0,40 m, a relação Mg/K foi influenciada significativamente apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.9 e 4.11), verificando-se na Figura 4.38, redução linear nos teores dessa relação com o aumento da aplicação de gesso, o que é justificado pelo aumento da concentração de íons cálcio nessa camada, provenientes da adição do gesso, resultando no deslocamento do magnésio e potássio em profundidade. A máxima e mínima relação Mg/K verificada na camada de 0,20-0,40 m com aplicação das doses 0 e 4.000 kg ha⁻¹ de gesso foram de 1,30 e 0,91.

$$\hat{Y} = 1,69 - 0,0005G - 0,00343K + 0,0000000675G^2 + 0,00000749K^2$$

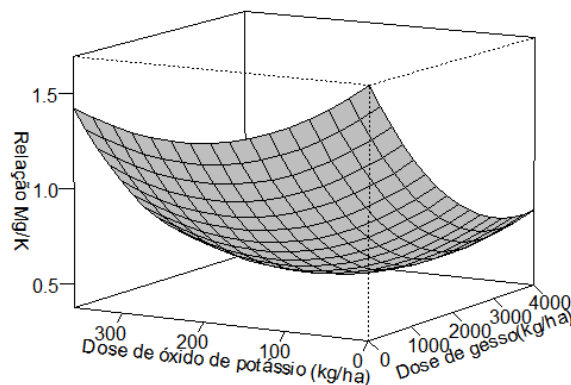


Figura 4.37. Relação Mg/K na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho em grãos.

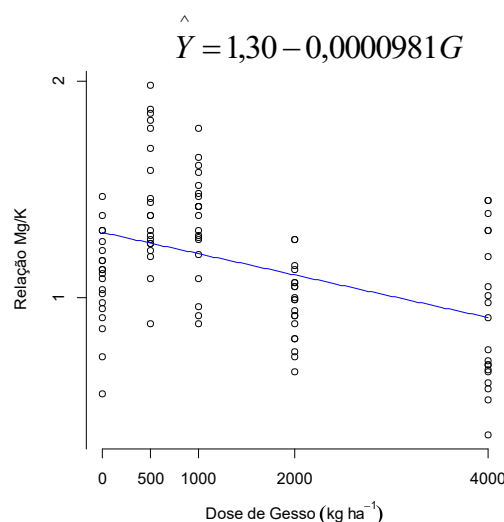


Figura 4.38. Relação Mg/K na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de milho em grãos.

Na Tabela 4.12 é apresentado o resumo da análise de variância do estado nutricional das plantas de milho verde e na Tabela 4.13 os modelos ajustados e selecionados para as variáveis que foram significativas aos fatores avaliados, verificando-se efeitos significativos apenas da aplicação do gesso para os teores foliares de K, Ca, S, Cu e Fe.

Tabela 4.12. Resumo da análise de variância para o estado nutricional das plantas de milho verde em função de diferentes doses de gesso e potássio.

G (kg ha ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹					
0	30,47	2,79	22,64	1,83	0,95	1,51	2,05	7,90	103,86	38,00	25,87
500	30,76	2,90	23,95	1,93	0,99	1,62	2,55	8,21	79,86	41,24	25,21
1000	30,69	2,77	22,54	2,24	1,02	1,50	4,27	7,96	79,74	41,81	24,12
2000	32,48	2,76	21,82	2,91	1,11	2,15	0,73	7,93	91,99	45,73	27,19
4000	30,72	2,81	21,07	3,03	1,05	2,32	0,37	6,65	85,73	47,08	28,08
K (kg ha ⁻¹)											
0	30,99	2,82	21,57	2,43	1,08	2,04	2,05	7,46	77,16	43,25	27,61
100	31,30	2,81	22,76	2,40	1,02	1,81	1,64	7,85	78,87	40,87	25,98
180	29,82	2,84	22,59	2,44	1,04	1,76	1,25	7,89	87,29	42,69	25,64
240	29,86	2,81	21,87	2,39	0,98	1,83	1,73	7,90	90,59	45,41	24,62
360	33,14	2,75	23,22	2,27	0,99	1,68	3,27	7,54	107,26	41,65	26,62
Média	31,02	2,81	22,40	2,39	1,02	1,82	1,99	7,73	88,23	42,77	26,09
F _G	0,40 ^{ns}	0,59 ^{ns}	5,93 ^{***}	51,64 ^{***}	3,20 ^{ns}	29,60 ^{***}	4,76 ^{ns}	2,59 ^{***}	2,51 ^{***}	1,69 ^{ns}	1,71 ^{ns}
F _K	1,08 ^{ns}	0,19 ^{ns}	2,34 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,43 ^{ns}	3,53 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,86 ^{ns}
F _{GxK}	0,42 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,74 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,62 ^{ns}	2,40 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,90 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,39 ^{ns}
C.V.%	18,77	11,80	8,77	14,48	14,65	17,39	71,94	22,16	24,95	29,37	20,56

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “***” significativo a 1%; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação

Tabela 4.13. Modelos ajustados e selecionados, teste t, critério de informação bayesiano (BIC) para os teores de potássio, cálcio, enxofre, cobre e ferro em cultivo de milho verde em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativa	Erro padrão	t	p-valor	BIC
K	Intercepto	$2,32 \times 10^{+01}$	$3,07 \times 10^{-01}$	75,62	$<2,00 \times 10^{-16***}$	-4,24
	G	$-5,60 \times 10^{-04}$	$1,49 \times 10^{-04}$	-3,76	$2,93 \times 10^{-04***}$	
Ca	Intercepto	1,90	$5,82 \times 10^{-02}$	32,61	$<2,00 \times 10^{-16***}$	-75,89
	G	$3,24 \times 10^{-04}$	$2,83 \times 10^{-05}$	11,47	$<2,00 \times 10^{-16***}$	
S	Intercepto	1,49	$5,01 \times 10^{-02}$	29,65	$<2,00 \times 10^{-16***}$	-52,97
	G	$2,24 \times 10^{-04}$	$2,43 \times 10^{-05}$	9,19	$6,84 \times 10^{-15***}$	
Cu	Intercepto	8,24	$2,54 \times 10^{-01}$	32,49	$<2,00 \times 10^{-16***}$	-0,1
	G	$-3,45 \times 10^{-04}$	$1,23 \times 10^{-04}$	-2,81	$6,07 \times 10^{-03**}$	
Fe	Intercepto	$9,61 \times 10^{+01}$	4,47	21,51	$<2,00 \times 10^{-16***}$	7,83
	G	$-1,50 \times 10^{-02}$	$6,33 \times 10^{-03}$	-2,37	$1,99 \times 10^{-02*}$	
	G ²	$3,15 \times 10^{-06}$	$1,48 \times 10^{-06}$	2,13	$3,57 \times 10^{-02*}$	

“*” significativo a 5 %; “**” significativo a 1 % e; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G: doses de gesso; K: doses de K₂O.

O teor foliar de nitrogênio na folha diagnóstica do milho verde não foi influenciado significativamente pelos fatores avaliados (Tabela 4.12), verificando-se teor médio de 31,02 g kg⁻¹ de N foliar. Contudo, vale ressaltar que o teor médio de nitrogênio verificado no presente estudo, está dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho, ou seja, valores entre 27,0 a 35,0 g kg⁻¹ de N foliar (BATAGLIA et al., 1983).

Para o teor foliar de fósforo, não foi observada resposta significava no teor desse nutriente em resposta à aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.12). Maschietto (2009) ao avaliar a produtividade de milho e soja em função de doses de gesso, não verificou efeitos significativos para o teor de nitrogênio foliar na cultura de milho, mas, a concentração de fósforo foliar aumentou linearmente com aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, o que os autores associaram ao aumento de fósforo disponível na camada superficial do solo. O teor médio de fósforo foliar verificado no presente estudo foi de 2,81 g kg⁻¹, estando esse teor, dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho (2,00 a 4,00 g kg⁻¹ de P foliar) segundo Bataglia et al. (1983).

O teor foliar de potássio na folha diagnóstica do milho verde, foi influenciado significativamente apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.12 e 4.13). Doses crescentes de gesso promoveram efeito linear decrescente no teor de K foliar nas plantas de milho, observando-se a redução de 0,000560 g kg⁻¹ na concentração foliar de desse nutriente a partir da dose 0 kg ha⁻¹ de gesso. Esse efeito pode ser explicado pela possível formação de pares iônicos K₂SO₄⁰, resultantes da ligação entre os íons K⁺ e SO₄²⁻, que apresentam alta

movilidade vertical no solo, ocasionando a lixiviação do potássio para camadas mais profundas do solo (MODA et al., 2013). Para Rocha (2013), a redução no teor foliar de K após aplicação de gesso no solo, está relacionada ao excesso de íons cálcio em solução, provenientes da dissolução do gesso, o que eleva sua atividade iônica e, ao mesmo tempo, reduz a atividade do potássio e, conseqüentemente, sua menor absorção pelas plantas.

O máximo e mínimo teor foliar de K verificado com as doses 0 e 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente, foram de 23,20 e 20,96 g kg⁻¹ (Figura 4.39). Merrt (2013) ao avaliar os efeitos da aplicação do gesso e calcário nas propriedades químicas do solo e na produtividade de milho, verificou 20,95 g kg⁻¹ para o teor de K foliar com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Vale ressaltar que os valores de K foliar determinados neste estudo, 23,20 e 20,96 g kg⁻¹, encontram-se dentro da faixa considerada adequada para essa cultura, ou seja, teores entre 17,0 a 35,0 g kg⁻¹ (BATAGLIA et al., 1983).

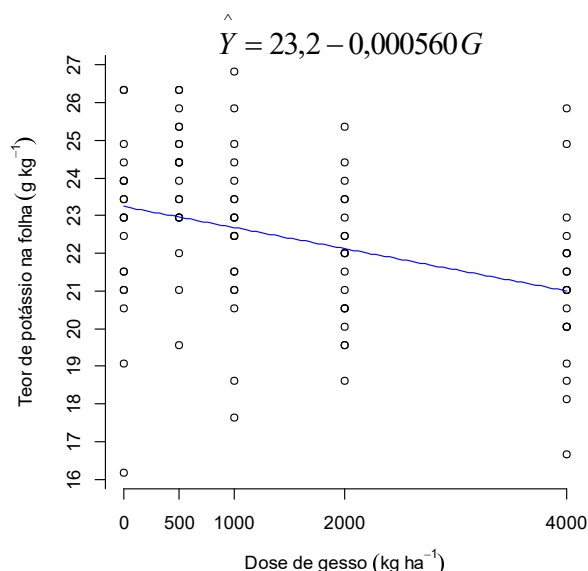


Figura 4.39. Teor foliar de potássio (K) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.

O teor foliar de cálcio aumentou linearmente (Tabelas 4.12 e 4.13) em função da aplicação do gesso (Figura 4.40), efeito semelhante foi verificado por Caires et al. (2004). O aumento na concentração de cálcio foliar em diversas culturas após a aplicação de gesso agrícola, tem sido evidenciado em diversos trabalhos na literatura (QUAGGIO et al., 1993; CAIRES et al., 1999, 2001, 2002, 2004; RAMPIM et al., 2011; COSTA, 2011).

O máximo teor foliar de Ca (3,20 g kg⁻¹) foi verificado com a dose máxima de gesso, sendo teor este, 10,35% maior que o valor relatado por Caires et al. (2004), que ao avaliarem as alterações químicas do solo e a resposta do milho quanto à calagem e gessagem verificaram 2,9 g kg⁻¹ para Ca foliar, após a aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso. O teor foliar de Ca

verificado no presente estudo, está dentro da faixa adequada (2,5 a 8,0 g kg⁻¹) para a cultura do milho, conforme descreve Bataglia et al. (1983).

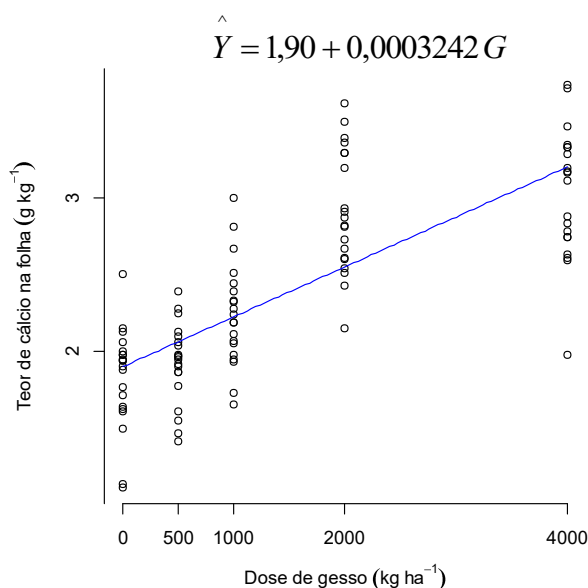


Figura 4.40. Teor foliar de cálcio (Ca) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.

O teor foliar de magnésio na folha diagnóstica do milho verde não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.12), verificando-se teor médio de 1,02 g kg⁻¹ de magnésio. Para Bataglia et al. (1983), o teor foliar de magnésio adequado para a cultura de milho encontra-se entre 1,50 a 5,00 g kg⁻¹, estando o teor deste estudo, abaixo do recomendado para a cultura do milho.

O baixo teor de magnésio foliar verificado no presente estudo, pode estar relacionado à percolação desse nutriente no perfil do solo após a aplicação do gesso (Figuras 4.25-A e 4.25-B), o que influenciou a disponibilidade de absorção desse nutriente pelas plantas de milho verde. Rampim et al. (2011) observaram a redução na absorção de magnésio no tecido foliar da cultura do trigo, associando o efeito à alta solubilidade do gesso, pois segundo esses autores, o gesso propicia lixiviação de Mg²⁺ das camadas superficiais, aumentando a relação Ca²⁺/Mg²⁺ com o incremento de Ca²⁺.

Em relação ao teor foliar de enxofre (Tabelas 4.12 e 4.13), apenas o gesso proporcionou efeitos lineares crescentes em sua concentração, promovendo incrementos de 0,000224g kg⁻¹ no teor foliar de enxofre (Figura 4.41), a cada quilograma de gesso aplicado ao solo. O aumento no teor de enxofre foliar na cultura de milho também foi verificado por Maschietto (2009) e Meert (2013) corroborando com os resultados obtidos no presente estudo, mas, discordou dos resultados observados por Caires et al. (2004). Esse aumento na

concentração foliar de enxofre, está relacionado com a elevação dos teores de enxofre disponíveis no solo após aplicação do gesso, que possui 15% de enxofre em sua composição, o que propicia maior disponibilidade e absorção deste pelas plantas.

Com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, verificou-se o máximo teor foliar de enxofre, ou seja, 2,38 g kg⁻¹ (Figura 4.41). Caires et al. (2004) relataram 1,8 g kg⁻¹ de enxofre foliar na cultura do milho com aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso. Raij et al. (1998) ao avaliarem as cultivares de milho D170 e C525 em resposta à aplicação de 8.000 kg ha⁻¹ de gesso no ano agrícola de 1991/1992, estimaram valores de 2,0 e 1,8 g kg⁻¹ para enxofre foliar para as cultivares D170 e C525, respectivamente. Para Bataglia et al. (1983), são considerados adequados para a cultura do milho, teores foliares de enxofre entre 1,5 a 3,0 g kg⁻¹, verificando-se que o teor determinado no presente estudo (2,38 g kg⁻¹) está dentro da faixa considerada adequada para essa cultura.

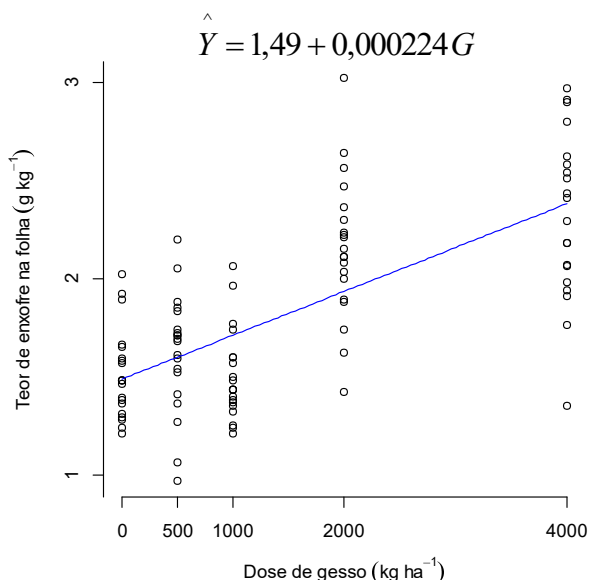


Figura 4.41. Teor foliar de enxofre (S) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.

Para o teor de boro foliar, não foram observados efeitos significativos da aplicação das doses de gesso e potássio nos teores desse nutriente (Tabela 4.12), verificando-se teor médio de 1,99 mg dm⁻³ de boro foliar. Em relação ao teor de boro foliar, verificou-se que o mesmo não se encontra dentro da faixa considerada adequada para a cultura de milho, ou seja, valores entre 10,0 a 25,0 mg kg⁻¹ de boro foliar (BATAGLIA et al., 1983), o que pode ser atribuído à percolação de boro em profundidade pela ação do gesso (Figuras 4.32-A e 4.32-B), reduzindo a disponibilidade de absorção desse nutriente pelas plantas de milho verde.

Para o teor foliar de cobre foi verificado apenas efeito significativo do gesso (Tabelas 4.12 e 4.13), que proporcionou redução de $0,000345 \text{ mg kg}^{-1}$ no teor foliar desse nutriente, a cada quilograma de gesso aplicado ao solo. Pelo modelo ajustado, nota-se que sem a adição de gesso o teor foliar inicial de cobre foi de $8,24 \text{ mg kg}^{-1}$ (Figura 4.42), reduzindo 16,74% com aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso.

O máximo e mínimo teor foliar de cobre obtido com as doses 0 e 4.000 kg ha^{-1} de gesso foram de, respectivamente, $8,24$ e $6,86 \text{ mg kg}^{-1}$. Santos et al. (2006) ao avaliarem os efeitos da aplicação de diferentes corretivos no solo sob a produtividade e atributos químicos da cultura de milho, obtiveram $5,3 \text{ mg kg}^{-1}$ de cobre foliar (folha abaixo e oposta à espiga/estádio de florescimento) com a dose de 3.240 kg ha^{-1} de gesso, teor esse, inferior aos verificados no presente estudo.

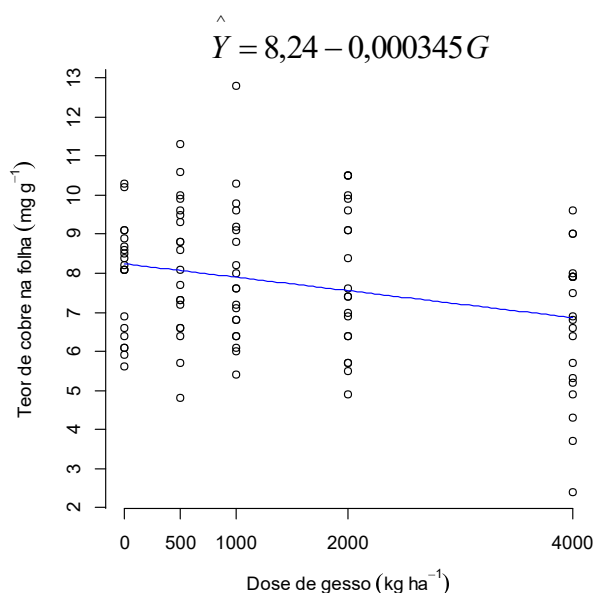


Figura 4.42. Teor foliar de cobre (Cu) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.

Embora o teor foliar de cobre tenha adotado comportamento linear decrescente em função da aplicação de gesso, o valor obtido no presente estudo está dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho, ou seja, valores entre 6 a 20 mg kg^{-1} de cobre foliar (BATAGLIA, et al., 1983).

O teor foliar de ferro foi influenciado apenas pelas doses de gesso (Tabelas 4.12 e 4.13), verificando-se ajuste quadrático das doses desse resíduo para o teor foliar desse nutriente (Figura 4.43). Na Figura 4.43, nota-se que houve redução inicial nos teores foliares de ferro com aplicação de até $2.380,95 \text{ kg ha}^{-1}$ de gesso, observando-se a elevação destes, posteriormente, com o aumento do gesso aplicação. Com aplicação de $2.380,95 \text{ kg ha}^{-1}$ de

gesso foi verificado 78,24 mg kg⁻¹ de Fe foliar, teor este, 64,31% menor que o verificado por Zardo Filho (2011), que ao avaliar os atributos químicos de um Latossolo Vermelho de textura argilosa e a produtividade do milho em resposta à aplicação de gesso, verificou o teor de 121,66 mg kg⁻¹ de ferro foliar com a aplicação de 5.000 kg ha⁻¹ de gesso, porém, o autor não observou efeitos significativos do gesso para os teores foliares desse nutriente.

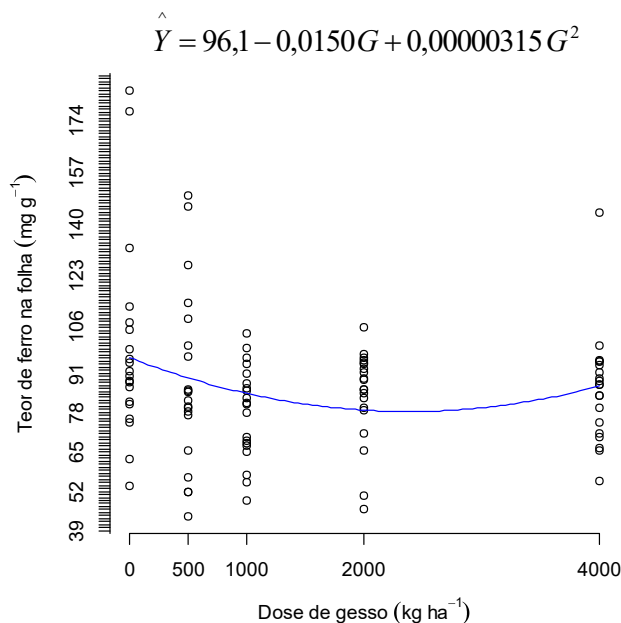


Figura 4.43. Teor foliar de ferro (Fe) em função de doses de gesso em cultivo de milho verde.

No presente estudo nota-se que os teores foliares de ferro são inferiores quando comparados aos de Zardo Filho (2011). No entanto, o mesmo encontra-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho segundo Bataglia et al. (1983), ou seja, valores entre 30 e 250 mg kg⁻¹ de ferro foliar.

O teor foliar de manganês na cultura do milho verde não foi influenciado significativamente pela aplicação dos fatores avaliados (Tabela 4.12), o que pode ser atribuído à percolação desse nutriente na camada de 0-0,20 m do solo (Figura 4.34) em resposta à aplicação de gesso, o que deve ter diminuído a disponibilidade de absorção desse nutriente pelas plantas, verificando-se teor médio de 42,77 mg dm⁻³ de manganês. Importante ressaltar que, embora o gesso aplicado ao solo tenha reduzido os teores de manganês na camada de 0-0,20 m (Figura 4.34), o teor de manganês foliar verificado no presente estudo encontra-se dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho (20 a 200 mg kg⁻¹ de Mn), segundo Bataglia et al. (1983), o que reforça a utilização desse resíduo no cultivo de milho.

O teor foliar de zinco não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.12), verificando-se teor médio de 26,09 mg dm⁻³ de zinco

foliar, estando este teor, dentro da faixa considerada adequada para a cultura do milho, ou seja, teores de zinco foliares entre 15 a 100 mg kg⁻¹, conforme descreve Bataglia et al. (1983).

Na Tabela 4.14 é apresentado o resumo de análise de variância e na Tabela 4.15, os modelos ajustados e selecionados para as características biométricas e produtivas avaliadas na cultura do milho verde, verificando-se nas referidas tabelas, interação significativa das doses de gesso e potássio para os teores de sólidos solúveis totais (°Brix).

Na Figura 4.44, observa-se que o máximo teor de sólidos solúveis totais obtido na avaliação dos grãos de milho verde (7,84 °Brix), foi verificado com as doses máximas de gesso e potássio, ou seja, 4.000 e 360 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente. Esse valor é 7,76 % menor que o relatado por Pinho (2008), no qual ao avaliar o teor de sólidos solúveis totais em diferentes cultivares de milho verde sob cultivo orgânico e mineral, relatou média de 8,5°Brix para a cultivar BR 106. Gonçalves et al. (2011) ao avaliarem o comportamento do milho verde em função das condições edafoclimáticas e da adaptabilidade aos ecossistemas de terra firme e várzea no estado do Amazonas, verificaram a concentração de 9,03°Brix em duas espigas por parcela aos 91 dias de germinação.

No entanto, vale destacar que os teores de sólidos solúveis em milho variam de acordo com a cultivar, condições de cultivo, e, sobretudo, pelo ponto de colheita.

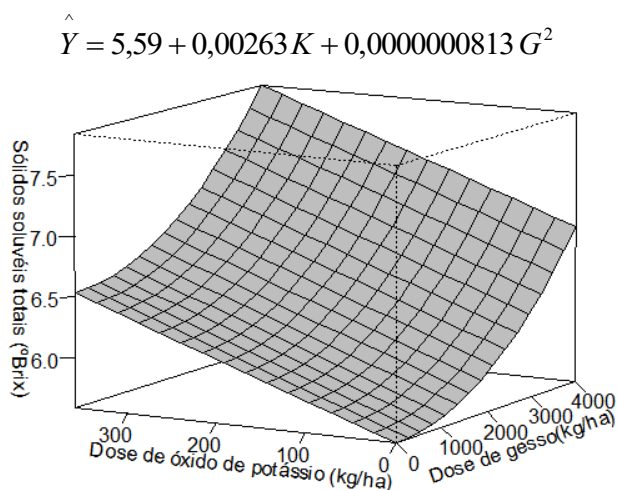


Figura 4.44. Concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) em função de doses de gesso e potássio em cultivo de milho verde.

As variáveis altura da planta (AP) e diâmetro do colmo (DC) não foram influenciadas significativamente pelas doses de gesso e potássio (Tabela 4.14). Os resultados verificados para as características AP (180,67 cm) e DC (2,09 cm), corroboram com os efeitos relatados no trabalho de Castro et al. (2013) quanto ao uso do gesso agrícola, no qual, ao avaliarem os efeitos da gessagem na cultura de milho, não observaram significância para

Tabela 4.14. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas do milho verde em função de doses de gesso e potássio.

G	AP	DC	DE	CE	MFP	MECP	MED	PB	PE	SST
(kg ha ⁻¹)	cm			g			kg ha ⁻¹		°Brix	
0	178,36	2,08	4,76	16,27	783,99	348,70	210,97	47.039,35	20.922,07	5,80
500	181,91	2,10	4,74	16,43	777,29	345,89	204,80	46.637,64	20.753,09	5,34
1000	176,99	2,06	4,66	16,61	800,95	358,33	213,63	48.056,79	21.499,76	6,09
2000	182,19	2,08	4,74	16,43	801,91	339,89	204,46	48.114,50	20.393,65	6,50
4000	183,93	2,14	4,76	16,85	806,81	355,45	212,80	48.408,60	21.327,11	7,10
K										
(kg ha ⁻¹)										
0	179,21	2,09	4,73	16,77	786,55	356,71	214,37	47.193,18	21.402,36	5,43
100	181,55	2,10	4,75	16,69	838,25	360,79	215,06	50.295,24	21.647,58	6,65
180	179,89	2,04	4,66	16,24	747,34	332,45	202,62	44.840,70	19.947,19	6,45
240	178,40	2,08	4,71	16,29	765,59	338,12	200,85	45.935,67	20.286,98	5,80
360	184,34	2,15	4,82	16,62	833,20	360,19	213,73	49.992,10	21.611,58	6,53
Média	180,67	2,09	4,73	16,52	794,19	349,65	209,33	47.651,38	20.979,14	6,17
F _G	1,36 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,47 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,371 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,80 ^{ns}	15,31 ^{ns}
F _K	0,90 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,54 ^{ns}	3,78 ^{ns}	2,60 ^{ns}	1,92 ^{ns}	3,77 ^{ns}	2,60 ^{ns}	8,47 ^{ns}
F _{GxK}	1,51 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,99 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,22 ^{ns}	0,99 ^{ns}	3,40 ^{***}
C.V.%	6,12	6,61 ^{ns}	5,50	5,26	11,71	10,59	10,85	11,71	10,59	10,82

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “**” significativo a 1%; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação; AP = altura da planta; DC = diâmetro do colmo; DE = diâmetro da espiga sem palha; CE = comprimento da espiga sem palha; MFP = massa fresca da planta; MECP = massa da espiga com palha; MED = massa da espiga despalhada; PB = produtividade de biomassa; PE = produtividade de espigas; SST = sólidos solúveis totais.

Tabela 4.15. Modelo ajustado e selecionado pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para o teor de sólidos solúveis totais (SST) em cultivo de milho verde em função de doses de gesso e potássio.

	Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
Modelo ajustado	SST	Intercepto	5,59	$1,64 \times 10^{-01}$	34,17	$<2,00 \times 10^{-16}***$	
		K	$2,63 \times 10^{-03}$	$7,09 \times 10^{-04}$	3,71	$3,42 \times 10^{-04}***$	-24,07
		G ²	$8,13 \times 10^{-08}$	$1,43 \times 10^{-08}$	5,68	$1,43 \times 10^{-07}***$	

“***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O; SST = sólidos solúveis totais

altura da planta (145 cm) e diâmetro da planta (1,66 cm) com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Contudo, os valores obtidos no presente estudo são 24,60 e 25,90% maiores que os valores das variáveis AP e DC verificados por Castro et al. (2013).

Kurihara et al. (2013) observaram em seu estudo que a aplicação de gesso no cultivo de milho safrinha (2011/2012) não influenciou significativamente na altura da planta, verificando com a aplicação de 3.200 kg ha⁻¹ de gesso, 195 cm para AP. Em relação ao uso de K na adubação em cultura do milho, Rodrigues et al. (2014) avaliando a influência de doses de cloreto de potássio convencional e revestido, não observaram respostas significativas nas variáveis AP e DC com a aplicação de KCl convencional, concordando com o presente estudo.

Para as variáveis diâmetro da espiga (DE) e comprimento da espiga (CE) não foram observados efeitos significativos em seus valores, em resposta aos fatores avaliados (Tabela 4.14). Os valores médios verificados para o diâmetro da espiga (4,73 cm) e comprimento da espiga (16,52 cm) se aproximam dos relatados por Cruz (2009), que ao avaliar a influência de doses crescentes de K no cultivo de milho com e sem cobertura vegetal, verificou médias de 4,87 e 16,37 cm para DE e CE, respectivamente, com a dose de 225 kg ha⁻¹ de K₂O. Oliveira et al. (2012) ao avaliarem o desempenho agrônomo do milho em resposta à adubação com NPK, verificaram valores médios de 4,38 e 10,58 cm, respectivamente, para as variáveis DE e CE, valores 7,99 e 56,14 % menores quando comparados ao do presente estudo.

Na Tabela 4.14, são apresentados os valores médios para as características massa fresca da planta (794,19 g), massa da espiga com palha (349,65 g) e massa da espiga despilhada (209,33 g), para as quais não foram observados efeitos significativos em resposta aos fatores avaliados. Martins et al. (2009) ao avaliarem os efeitos de cinco doses de potássio na produtividade e qualidade de espigas de milho verde em Latossolo Amarelo distrocoeso, verificaram 283,57 e 165,67 g, respectivamente, para MECP e MED com aplicação máxima

de 200 kg ha⁻¹ de K₂O, valores inferiores ao do presente estudo. Cruz et al. (2009) avaliando a resposta do milho quanto à adubação potássica em um Latossolo Amarelo distrocoeso, verificaram efeitos significativos para a MED em resposta a adubação potássica, observando 171,3 g para a MED com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de K₂O.

As doses de gesso e potássio aplicadas ao solo, não influenciaram significativamente a produtividade de espigas (PE) de milho verde (Tabela 4.14), verificando-se produtividade média de 20.979,14 kg ha⁻¹. Martins et al. (2009) avaliando a produtividade de espigas de milho verde em Latossolo Amarelo distrocoeso em função da aplicação de K, verificaram 13.881,02 kg ha⁻¹ para a PE com aplicação de 105,08 kg ha⁻¹ de K, produtividade inferior quando comparada a do presente estudo. A produtividade de biomassa não foi influenciada significativamente pela aplicação das doses de gesso e K₂O (Tabela 8), verificando-se produtividade média de biomassa de 47.651,38 kg ha⁻¹.

Na Tabela 4.16, é apresentado o resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas do cultivo de milho em grãos, na qual verifica-se que não houve efeitos significativos para a massa da espiga com palha (MESCP) e massa da espiga despilhada (MED), em resposta à aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.16), verificando-se valores médios de 188,79 e 163,32 gramas para a MESCP e MED, respectivamente. Silva et al. (2012) avaliando o cultivo de milho em grãos em função da adubação convencional, verificaram 190,00 e 168,2 gramas para a MESCP e MED, respectivamente, massas muito próximas às do presente trabalho. Arf et al. (2012) ao avaliarem a produtividade de milho em função da época de semeadura em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram 160,30 gramas para a massa da espiga despilhada com 300 kg ha⁻¹ da formulação 8-28-16.

A massa do sabugo (MS) e a massa de grãos da espiga (MGE) não foram influenciadas significativamente pelas doses de gesso e potássio (Tabela 4.16), verificando-se valores médios de 26,61 g (MS) e 136,69 g (MGE), massas próximas às relatadas por Silva et al. (2012), 34,40 e 133,80 gramas, respectivamente. Arf et al. (2007) em estudo conduzido em Latossolo Vermelho distrófico, avaliaram o comportamento do milho em função do manejo do solo e da época de aplicação de nitrogênio (100 kg ha⁻¹ de N), verificando para a massa de grãos da espiga e massa do sabugo, respectivamente, 120,2 e 17,9 gramas.

A produtividade de grãos de milho não foi influenciada pelos fatores avaliados verificando-se produtividade média de grãos de milho de 8.201,50 kg ha⁻¹ (Tabela 4.16).

Tabela 4.16. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivos do cultivo de milho em grãos em função de doses de gesso e potássio.

G (kg ha ⁻¹)	MESCP	MED	MS	MGE	PG
	----- g -----				----- kg ha ⁻¹ -----
0	182,20	157,48	25,48	131,89	7.913,53
500	194,25	168,32	31,65	136,66	8.199,80
1000	181,51	157,95	24,49	133,46	8.007,52
2000	193,39	167,01	24,62	142,39	8.543,32
4000	192,57	165,83	26,78	139,06	8.343,32
K (kg ha ⁻¹)					
0	180,74	154,26	24,06	130,10	7.805,93
100	191,01	166,38	26,14	140,25	8.414,91
180	188,87	163,24	28,04	135,20	8.111,90
240	187,98	163,39	25,54	137,85	8.270,71
360	195,32	169,31	29,25	140,07	8.404,05
Média	188,79	163,32	26,61	136,69	8.201,50
F _G	1,56 ^{ns}	1,28 ^{ns}	3,10 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,06 ^{ns}
F _K	1,09 ^{ns}	1,51 ^{ns}	1,47 ^{ns}	1,05 ^{ns}	1,06 ^{ns}
F _{GxK}	1,05 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,98 ^{ns}	0,98 ^{ns}
C.V.%	12,05	12,56	28,31	13,42	13,42

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação; MESCP = massa da espiga com palha; MED = massa da espiga despilhada; MS = massa do sabugo; MGE = massa de grãos da espiga; PG = produtividade de grãos

Os resultados para produtividade de grãos de milho no presente estudo, corroboraram com os efeitos relatados por Raij et al. (1998) e Tarsitano (2013), em relação à aplicação de gesso agrícola. Raij et al. (1998) ao avaliarem a produtividade de milho em grãos em função de doses de gesso em Latossolo Vermelho escuro, não observaram efeitos significativos da aplicação do gesso na produtividade de grãos, verificando produtividade média de 4.360 kg ha⁻¹ com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, produtividade essa, inferior quando comparada a do presente estudo.

Tarsitano (2013) ao avaliar a aplicação de calcário e gesso agrícola na produtividade de milho e na modificação dos atributos químicos de um Latossolo Vermelho distrófico de textura argiloso, também não observou efeitos significativos da aplicação de gesso na produtividade de grãos de milho, verificando produtividade de 6.784 kg ha⁻¹ com a dose de 4.500 kg ha⁻¹ de gesso.

Em relação à aplicação de potássio na cultura do milho, Valderrama et al. (2011) trabalhando com diferentes fontes de N, P e K aplicados na cultura em Latossolo Vermelho distrófico, também não verificaram efeitos significativos da aplicação de doses de K (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) na produtividade de grãos de milho, obtendo produtividade média de 9.110 kg ha⁻¹.

Contudo, Veloso et al. (2012) avaliando a influência da adubação potássica (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de K₂O) e épocas de aplicação na produtividade de grãos de milho em Latossolo Amarelo distrófico, observaram aumento na produtividade de grãos de milho com aplicação de até 100 kg ha⁻¹ K, verificando com essa dose, 5.268 kg ha⁻¹ para produtividade de grãos. Os autores atribuíram esse aumento na produtividade de grãos, ao baixo teor de K disponível no solo sem aplicação das doses de K, ou seja, 0,59 mmolc dm⁻³ de K, valor esse, considerado baixo para a cultura do milho.

Vale destacar que, no presente trabalho o teor inicial de K no solo antes da instalação do experimento foi 1,64 mmolc dm⁻³, teor esse, considerado médio para o desenvolvimento da cultura. Segundo Brunetto et al. (2005), inúmeras culturas têm demonstrado pouca resposta em relação à adubação potássica, quando os teores de K na camada arável são maiores que 1,5-2,0 mmolc dm⁻³.

Pavinato et al. (2008) avaliando a produtividade de grãos de milho em função de diferentes doses de nitrogênio e potássio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram que a adubação potássica não influenciou a produtividade de grãos de milho, atribuindo essa resposta, ao alto teor inicial de K nas camadas de 0 a 0-10 m,

5,06 e 4,29 mmolc dm⁻³ de K, respectivamente, corroborando em partes, com o presente trabalho.

4.3 Atributos químicos do solo, estado nutricional e características biométricas e produtivas da cultura do sorgo

Na Tabela 4.17 é apresentado o resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m após o cultivo de sorgo para produção de grãos e na Tabela 4.19, os respectivos modelos ajustados e selecionados, verificando-se, respectivamente por meio dessas tabelas, efeitos significativos da aplicação do gesso para os atributos químicos Ca, Mg, H+Al, SB, CTC calculada, V%, B, Cu, Zn e nas relações Ca/Mg e Mg/K; efeitos significativos da aplicação de potássio para o teor de Mn; e, interação significativa entre os fatores avaliados para os teores de K e S no solo.

Para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m, verificou-se efeitos significativos da aplicação do gesso para os teores de P, K, Ca, SB, V%, S, B, Zn e na relação Ca/Mg; efeitos das doses de potássio para o valor de pH (CaCl₂), nos teores de Al, Fe, Mn e na relação Mg/K; e, interação significativa entre as doses de gesso e potássio para os teores de Mg, Cu e relação Ca/K, cuja análise de variância é apresentada na Tabela 4.18 e os modelos ajustados e selecionados na Tabela 4.20.

Os teores de matéria orgânica (MO) nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.17 e 4.18), não responderam de maneira significativa aos fatores avaliados, verificando-se teores médios de 19,96 e 14,85 g dm⁻³ de MO nas referidas camadas. Tarsitano (2013) também não observou efeitos significativos da aplicação de gesso para os teores de MO no solo, relatando teores médios de 17,30 e 12,00 g dm⁻³ nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, respectivamente, após a aplicação de 4.500 kg ha⁻¹ de gesso.

O valor de pH (CaCl₂) na camada de 0-0,20 m do solo (Tabelas 4.17), não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio, verificando-se o valor médio de 4,69 para esse atributo na referida camada. Na camada de 0,20-0,40 m do solo, verificou-se redução de 0,0003442 unidades no valor desse atributo (Figura 4.45) a cada quilograma por hectare de K₂O aplicado ao solo, resultando no mínimo teor de pH (CaCl₂) na referida camada, ou seja, 4,77. Essa redução nos valores de pH (CaCl₂) com o aumento da aplicação de potássio, pode ser atribuída ao deslocamento de íons H⁺ da solução do solo em função da ligação de K⁺ às cargas elétricas do solo, o que resultou na maior concentração de íons H⁺ livres e, redução nos valores de pH (CaCl₂) na camada de 0,20-0,40 m do solo.

Tabela 4.17. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0-0,20 m após o cultivo de sorgo para produção de grãos em função de doses de gesso e potássio.

G	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
(kg ha ⁻¹)	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	-----	mmolc dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	-----	%	-----	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	-----	-----	-----
0	20,70	4,68	69,00	2,08	10,50	3,50	4,45	22,00	15,75	37,00	39,55	1,50	0,37	0,47	32,50	6,94	2,49	3,26	3,76	1,67
500	21,75	4,78	53,50	2,45	10,50	2,75	4,60	21,40	15,25	36,00	41,55	1,75	0,43	0,51	44,00	10,82	2,70	3,89	5,72	1,09
1000	20,50	4,60	78,75	2,39	11,25	2,36	4,30	21,40	14,50	35,50	41,20	1,75	0,44	0,66	31,75	6,58	2,34	5,53	6,18	1,37
2000	18,70	4,70	68,50	2,88	11,50	2,83	4,60	22,75	14,50	36,25	38,60	7,50	0,38	0,61	31,75	7,99	2,94	8,29	10,58	0,67
4000	18,15	4,70	68,50	2,75	14,00	2,55	4,15	22,85	16,00	38,50	47,80	8,75	0,43	0,58	40,25	5,29	2,20	9,76	4,03	1,18
K																				
(kg ha ⁻¹)																				
0	20,80	4,73	69,00	2,08	10,50	3,50	4,35	21,35	15,75	37,00	41,85	1,50	0,37	0,56	32,50	6,94	2,49	6,44	6,95	1,67
100	20,40	4,68	68,50	2,38	10,75	2,50	4,70	22,35	14,50	37,50	39,60	2,25	0,41	0,58	45,50	11,51	2,81	6,12	5,51	1,08
180	18,45	4,78	63,78	2,50	10,25	2,75	4,40	22,75	14,75	35,50	40,65	2,25	0,44	0,57	28,75	6,59	2,23	5,93	5,38	1,23
240	20,95	4,70	68,75	2,68	10,27	3,00	4,25	21,65	15,75	36,75	42,50	7,41	0,42	0,57	41,25	7,03	2,63	5,41	5,50	1,15
360	19,20	4,58	68,23	2,93	10,99	2,25	4,40	22,30	15,25	36,50	44,10	7,84	0,40	0,56	32,25	5,55	2,48	6,84	6,92	0,89
Média	19,96	4,69	67,65	2,51	10,55	2,80	4,42	22,08	15,20	36,65	41,74	4,25	0,41	0,57	36,05	7,52	2,53	6,15	6,05	1,20
F _G	4,90 ^{ns}	4,56 ^{ns}	3,69 ^{ns}	15,28 ^{ns}	23,83 ^{***}	23,83 ^{***}	1,01 ^{ns}	3,44 ^{***}	11,49 ^{***}	13,12 ^{***}	8,74 ^{***}	8,91 ^{ns}	4,65 ^{***}	41,62 ^{***}	0,85 ^{ns}	4,88 ^{ns}	5,41 ^{***}	20,29 ^{***}	21,76 ^{ns}	7,94 ^{***}
F _K	2,61 ^{ns}	3,00 ^{ns}	1,27 ^{ns}	5,82 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,75 ^{ns}	2,25 ^{ns}	3,36 ^{ns}	3,64 ^{ns}	2,02 ^{ns}	2,73 ^{ns}	1,31	0,57 ^{ns}	0,84 ^{ns}	3,10 ^{***}	1,77 ^{ns}	0,76 ^{ns}	1,87 ^{ns}	2,65 ^{ns}
F _{GxK}	1,48 ^{ns}	2,32 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,84 ^{***}	1,83 ^{ns}	1,83 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,98 ^{ns}	2,59 ^{ns}	2,69 ^{ns}	1,68 ^{ns}	2,99 [*]	1,53	1,75 ^{ns}	1,96 ^{ns}	2,51 ^{ns}	3,38 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,37 ^{ns}	2,73 ^{ns}
C.V.%	15,1	2,47	18,36	17,73	35,41	28,19	19,62	7,66	27,08	12,17	13,03	218,20	24,96	9,37	30,35	29,42	13,76	45,26	43,34	24,66

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5 %; “***” significativo a 1%; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F, C.V. = coeficiente de variação

Tabela 4.18. Resumo da análise de variância para os atributos químicos do solo na camada de 0,20-0,40 m após o cultivo de sorgo para produção de grãos em função de doses de gesso e potássio.

G	M.O.	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
(kg ha ⁻¹)	g dm ⁻³	CaCl ₂	mg dm ⁻³	----- mmol _c dm ⁻³ -----				-----				%	----- mg dm ⁻³ -----							
0	15,00	4,81	39,25	2,60	13,00	4,15	3,30	22,75	19,75	41,25	44,90	4,75	0,27	0,48	32,25	5,08	1,77	2,71	4,95	1,72
500	15,75	4,92	34,25	3,19	15,75	3,95	2,90	22,60	23,75	44,65	49,30	2,50	0,30	0,45	35,97	7,85	2,08	4,03	5,46	1,63
1000	15,25	4,85	42,25	3,13	14,25	3,60	3,25	22,30	20,00	42,40	47,50	5,50	0,29	0,49	34,25	6,09	1,68	3,93	6,36	1,74
2000	15,00	4,79	36,75	3,26	14,75	2,95	4,00	22,10	20,00	41,65	46,95	11,25	0,33	0,47	37,88	5,85	1,90	4,49	7,45	1,68
4000	13,25	4,87	44,25	3,21	16,49	3,00	3,45	22,20	21,25	44,60	50,20	19,00	0,29	0,50	36,63	5,42	1,74	5,87	9,41	1,80
K																				
(kg ha⁻¹)																				
0	15,00	4,97	39,25	2,60	15,75	3,85	2,30	20,95	17,50	41,90	50,00	4,75	0,27	0,47	32,25	5,08	1,77	3,89	4,95	1,72
100	16,00	4,80	40,25	2,93	13,25	3,50	3,90	22,85	19,41	42,10	45,85	4,75	0,37	0,53	48,75	10,29	2,11	3,66	5,45	1,68
180	15,00	4,84	38,50	3,20	14,00	3,70	3,23	22,30	19,55	43,15	48,25	4,91	0,24	0,46	28,25	5,35	1,7	4,02	6,64	1,52
240	14,51	4,80	37,08	3,18	13,50	3,30	3,65	22,70	22,86	43,50	47,55	11,84	0,28	0,47	34,50	5,62	1,68	4,99	7,23	1,71
360	13,75	4,82	41,69	3,50	17,75	3,30	3,80	23,15	25,43	43,90	47,20	16,74	0,32	0,46	33,25	3,96	1,77	4,47	9,39	1,94
Média	14,85	4,84	39,35	3,08	14,85	3,53	3,38	22,39	20,95	42,91	47,77	8,60	0,30	0,48	35,40	6,06	1,83	4,20	6,73	1,71
F _G	3,29 ^{ns}	2,55 ^{ns}	13,04 ^{***}	7,77 ^{ns}	19,38 ^{***}	17,28 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,34 ^{ns}	9,08 ^{***}	6,34 ^{ns}	5,11 ^{***}	54,33 ^{**}	4,63 ^{***}	5,60 ^{ns}	0,32 ^{ns}	3,34 ^{ns}	10,51 ^{***}	13,77 ^{***}	19,03 ^{ns}	3,82 ^{ns}
F _K	2,53 ^{ns}	4,47 ^{**}	1,21 ^{ns}	6,21 ^{ns}	2,65 ^{ns}	3,47 ^{ns}	6,37 ^{***}	3,34 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,85 ^{ns}	2,75 ^{ns}	2,88 ^{ns}	2,68 ^{ns}	4,11 ^{ns}	6,56 ^{***}	3,93 ^{***}	3,01 ^{ns}	2,97 ^{ns}	5,70 ^{ns}	17,53 ^{***}
F _{GxK}	3,00 ^{ns}	1,62 ^{ns}	3,97 ^{ns}	2,11 ^{***}	2,82 ^{ns}	1,78 ^{***}	1,20 ^{ns}	0,95 ^{ns}	2,13 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,66 ^{ns}	5,96 ^{ns}	2,17 ^{ns}	2,16 ^{***}	6,71 ^{ns}	2,43 ^{ns}	4,56 ^{ns}	1,26 ^{ns}	2,25 ^{***}	3,14 ^{ns}
C.V.%	16,21	3,29	15,28	18,00	14,69	16,57	32,44	9,41	12,03	6,70	8,59	46,25	13,84	9,12	18,02	36,43	14,78	32,67	26,82	17,31

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “*” significativo a 5%; “***” significativo a 1 %; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F, C.V. = coeficiente de variação

Tabela 4.19. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo após o cultivo de sorgo para produção de grãos na camada de 0-0,20 m em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
K	Intercepto	2,30	$9,99 \times 10^{-02}$	23,02	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-33,27
	G	$-4,14 \times 10^{-04}$	$1,13 \times 10^{-04}$	-3,67	$3,97 \times 10^{-04}***$	
	K	$1,49 \times 10^{-03}$	$3,43 \times 10^{-04}$	4,35	$3,36 \times 10^{-05}***$	
	G ²	$5,40 \times 10^{-08}$	$2,64 \times 10^{-08}$	2,05	$4,35 \times 10^{-02}^*$	
Ca	Intercepto	9,26	$3,32 \times 10^{-01}$	27,86	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-46,90
	G	$1,40 \times 10^{-03}$	$1,61 \times 10^{-04}$	8,47	$2,80 \times 10^{-13}***$	
Mg	Intercepto	2,97	$1,34 \times 10^{-01}$	22,11	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-31,84
	G	$-1,19 \times 10^{-03}$	$1,90 \times 10^{-04}$	-6,27	$1,01 \times 10^{-08}***$	
	G ²	$2,42 \times 10^{-07}$	$4,45 \times 10^{-08}$	5,45	$3,85 \times 10^{-07}***$	
H + Al	Intercepto	$2,16 \times 10^{+01}$	$2,59 \times 10^{-01}$	83,43	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-1,29
	G	$3,40 \times 10^{-04}$	$1,25 \times 10^{-04}$	2,71	$7,92 \times 10^{-03}**$	
SB	Intercepto	$1,35 \times 10^{+01}$	$7,67 \times 10^{-01}$	17,64	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-40,17
	G	$1,86 \times 10^{-03}$	$3,72 \times 10^{-04}$	5,01	$2,46 \times 10^{-06}***$	
CTC	Intercepto	$3,51 \times 10^{+01}$	$8,17 \times 10^{-01}$	42,99	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-48,76
	G	$2,20 \times 10^{-03}$	$3,96 \times 10^{-04}$	5,56	$2,34 \times 10^{-07}***$	
V %	Intercepto	$3,91 \times 10^{+01}$	$8,87 \times 10^{-01}$	44,12	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-16,05
	G	$1,73 \times 10^{-03}$	$4,30 \times 10^{-04}$	4,03	$1,12 \times 10^{-04}***$	
S	Intercepto	$-1,12 \times 10^{+01}$	4,97	-2,26	$2,59 \times 10^{-02}^*$	-32,01
	G	$8,44 \times 10^{-03}$	$1,72 \times 10^{-03}$	4,92	$3,56 \times 10^{-06}***$	
	K	$4,69 \times 10^{-02}$	$1,98 \times 10^{-02}$	2,36	$2,02 \times 10^{-02}^*$	
B	Intercepto	$4,21 \times 10^{-01}$	$1,53 \times 10^{-02}$	27,52	$<2,00 \times 10^{-16}***$	1,58
	G	$-2,07 \times 10^{-05}$	$7,42 \times 10^{-06}$	-2,79	$6,39 \times 10^{-03}**$	
Cu	Intercepto	$4,79 \times 10^{-01}$	$1,29 \times 10^{-02}$	37,11	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-41,13
	G	$1,50 \times 10^{-04}$	$1,83 \times 10^{-05}$	8,19	$1,05 \times 10^{-12}***$	
	G ²	$-3,16 \times 10^{-08}$	$4,27 \times 10^{-09}$	-7,38	$5,37 \times 10^{-11}***$	
Mn	Intercepto	7,16	$4,92 \times 10^{-01}$	14,55	$<2,00 \times 10^{-16}***$	4,92
	K	$4,76 \times 10^{-03}$	$2,30 \times 10^{-03}$	2,07	$4,08 \times 10^{-02}^*$	
Zn	Intercepto	2,58	$5,81 \times 10^{-02}$	44,43	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-5,00
	G	$-9,82 \times 10^{-05}$	$2,82 \times 10^{-05}$	-3,49	$7,36 \times 10^{-04}***$	
Ca/Mg	Intercepto	2,84	$5,36 \times 10^{-01}$	5,30	$7,19 \times 10^{-07}***$	-44,79
	G	$3,30 \times 10^{-03}$	$7,60 \times 10^{-04}$	4,35	$3,41 \times 10^{-05}***$	
	G ²	$-3,89 \times 10^{-07}$	$1,78 \times 10^{-07}$	-2,19	$3,11 \times 10^{-02}^*$	
Mg/K	Intercepto	1,19	$5,79 \times 10^{-02}$	20,61	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-4,18
	G	$-3,35 \times 10^{-04}$	$8,20 \times 10^{-05}$	-4,08	$9,10 \times 10^{-05}***$	
	G ²	$8,34 \times 10^{-08}$	$1,92 \times 10^{-08}$	4,35	$3,35 \times 10^{-05}***$	

“*” significativo a 5 %; “***” significativo a 1 % e; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O.

Tabela 4.20. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os atributos químicos do solo após o cultivo de sorgo para produção de grãos na camada de 0,20-0,40 m em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
pH	Intercepto	4,90	$2,35 \times 10^{-02}$	208,23	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-1,19
	K	$-3,44 \times 10^{-04}$	$1,10 \times 10^{-04}$	-3,13	$2,29 \times 10^{-03}**$	
P	Intercepto	$3,59 \times 10^{+01}$	1,19	30,28	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-15,02
	G	$2,92 \times 10^{-03}$	$5,76 \times 10^{-04}$	5,07	$1,87 \times 10^{-06}***$	
K	Intercepto	3,03	$8,92 \times 10^{-02}$	33,99	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-3,32
	G	$-1,56 \times 10^{-04}$	$4,33 \times 10^{-05}$	-3,62	$4,73 \times 10^{-04}*$	
Ca	Intercepto	$1,26 \times 10^{+01}$	$3,82 \times 10^{-01}$	33,08	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-20,02
	G	$1,07 \times 10^{-03}$	$1,85 \times 10^{-04}$	5,77	$9,34 \times 10^{-08}***$	
Mg	Intercepto	4,50	$1,48 \times 10^{-01}$	30,54	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-35,24
	G	$-8,73 \times 10^{-04}$	$1,67 \times 10^{-04}$	-5,24	$9,62 \times 10^{-07}***$	
	K	$-1,48 \times 10^{-03}$	$5,06 \times 10^{-04}$	-2,92	$4,39 \times 10^{-03}**$	
	G ²	$1,39 \times 10^{-07}$	$3,90 \times 10^{-08}$	3,56	$5,74 \times 10^{-04}***$	
Al	Intercepto	2,85	$2,11 \times 10^{-01}$	13,5	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-0,04
	K	$3,03 \times 10^{-03}$	$9,84 \times 10^{-04}$	3,08	$2,67 \times 10^{-03}**$	
SB	Intercepto	$1,96 \times 10^{+01}$	$4,27 \times 10^{-01}$	45,98	$<2,00 \times 10^{-16}***$	0,63
	G	$5,93 \times 10^{-04}$	$2,07 \times 10^{-04}$	2,86	$5,17 \times 10^{-03}**$	
V %	Intercepto	$4,65 \times 10^{+01}$	$6,67 \times 10^{-01}$	69,71	$<2,00 \times 10^{-16}***$	2,28
	G	$8,58 \times 10^{-04}$	$3,24 \times 10^{-04}$	2,65	$9,36 \times 10^{-03}**$	
S	Intercepto	3,10	$9,79 \times 10^{-01}$	3,17	$2,03 \times 10^{-03}**$	-58,77
	G	$4,64 \times 10^{-03}$	$4,75 \times 10^{-04}$	9,77	$3,87 \times 10^{-16}***$	
B	Intercepto	$2,83 \times 10^{-01}$	$6,93 \times 10^{-03}$	40,83	$<2,00 \times 10^{-16}***$	5,58
	G	$6,40 \times 10^{-06}$	$3,36 \times 10^{-06}$	1,9	$5,99 \times 10^{-02}**$	
Cu	Intercepto	$4,41 \times 10^{-01}$	$1,32 \times 10^{-02}$	33,33	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-6,9
	G	$5,65 \times 10^{-05}$	$1,33 \times 10^{-05}$	4,24	$5,13 \times 10^{-05}***$	
	K	$4,88 \times 10^{-04}$	$1,30 \times 10^{-04}$	3,75	$3,03 \times 10^{-04}***$	
	G ²	$-1,19 \times 10^{-08}$	$3,11 \times 10^{-09}$	-3,83	$2,28 \times 10^{-04}***$	
	K ²	$-1,20 \times 10^{-06}$	$3,44 \times 10^{-07}$	-3,48	$7,66 \times 10^{-04}***$	
Fe	Intercepto	$3,14 \times 10^{+01}$	1,96	16	$<2,00 \times 10^{-16}***$	6,13
	K	$6,29 \times 10^{-02}$	$2,43 \times 10^{-02}$	2,59	$1,09 \times 10^{-02}*$	
	K ²	$-1,38 \times 10^{-04}$	$6,41 \times 10^{-05}$	-2,15	$3,39 \times 10^{-02}*$	
Mn	Intercepto	6,02	$5,26 \times 10^{-01}$	11,43	$<2,00 \times 10^{-16}***$	3,18
	K	$6,06 \times 10^{-03}$	$2,46 \times 10^{-03}$	2,47	$1,53 \times 10^{-02}*$	
Zn	Intercepto	1,85	$5,99 \times 10^{-02}$	30,85	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-6,72
	G	$6,07 \times 10^{-05}$	$2,91 \times 10^{-05}$	2,09	$3,94 \times 10^{-02}*$	
Ca/Mg	Intercepto	3,18	$2,14 \times 10^{-01}$	14,85	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-27,69
	G	$6,86 \times 10^{-04}$	$1,04 \times 10^{-04}$	6,61	$1,99 \times 10^{-09}***$	
Ca/K	Intercepto	5,18	$4,03 \times 10^{-01}$	12,87	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-29,71
	G	$8,39 \times 10^{-04}$	$1,20 \times 10^{-04}$	7,02	$3,24 \times 10^{-10}***$	
	K	$-1,36 \times 10^{-02}$	$4,45 \times 10^{-03}$	-3,04	$3,03 \times 10^{-03}**$	
	K ²	$3,06 \times 10^{-05}$	$1,18 \times 10^{-05}$	2,6	$1,08 \times 10^{-02}*$	
Mg/K	Intercepto	1,67	$6,05 \times 10^{-02}$	27,65	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-22,13
	K	$-3,40 \times 10^{-03}$	$7,47 \times 10^{-04}$	-4,55	$1,53 \times 10^{-05}***$	

K^2	$5,72 \times 10^{-06}$	$1,97 \times 10^{-06}$	2,9	$4,64 \times 10^{-03**}$
-------	------------------------	------------------------	-----	--------------------------

“**” significativo a 5 %; “***” significativo a 1 % e; “****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K_2O .

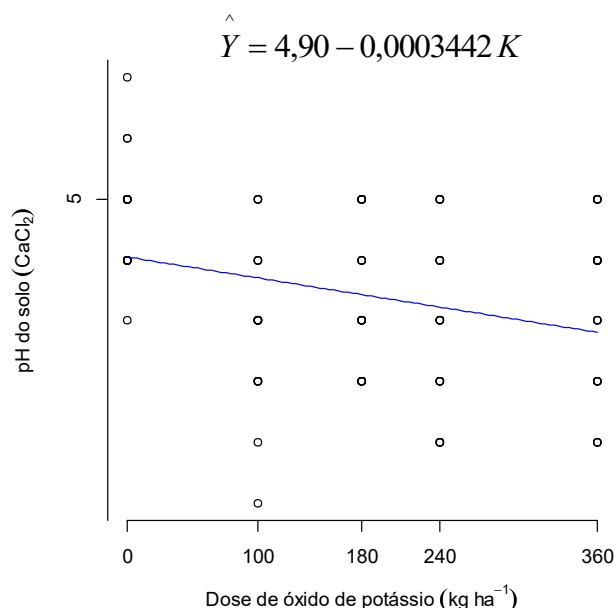


Figura 4.45. Valores de pH (CaCl₂) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.

O teor de fósforo na profundidade de 0-0,20 m solo (Tabela 4.17), não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio, corroborando com os trabalhos de Ramos (2011), Michalovicz (2012) e Meert (2013), quanto à aplicação de gesso. Contudo, Rampim et al. (2013) observaram o aumento no teor de fósforo na camada de 0-0,20 m em função do gesso, atribuindo esse aumento à substituição de $H_2PO_4^-$ por SO_4^{2-} , disponibilizando, assim, o fósforo nessa camada. É importante ressaltar que, pelo fato do gesso agrícola ser um dos subprodutos da produção de ácido fosfórico, o mesmo deve apresentar algum percentual de fósforo em sua composição, contribuindo no aumento deste nutriente no solo. Foi verificado o teor médio $64,90 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo na camada de 0-0,20 m no presente estudo, teor considerado “muito bom” segundo Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de fósforo no solo acima de $45,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Ramos (2011), verificou teor médio de $3,15 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo na camada de 0-0,20 m após a aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso.

O teor de fósforo no perfil de 0,20-0,40 m do solo, aumentou linearmente em resposta à aplicação do gesso agrícola (Tabelas 4.18 e 4.20), diferentemente dos efeitos relatados por Ramos (2011), Michalovicz (2012) e Meert (2013) quanto aos teores de fósforo no solo após a aplicação de gesso agrícola. Contudo, Rampim et al. (2013) também observaram o aumento no teor de fósforo na camada de 0,20-0,40 m em função do gesso

aplicado, atribuindo esse aumento à substituição de H_2PO_4^- por SO_4^{2-} , o que disponibilizou fósforo na referida camada.

Na Figura 4.46, verifica-se incrementos de $0,00292 \text{ mg dm}^{-3}$ nos teores de fósforo a cada quilograma por hectare de gesso adicionado ao solo, o que possibilitou verificar o teor máximo de $47,58 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo na profundidade de 0,20-0,40 m do solo, teor esse, considerado “muito bom” para Alvarez V. et al. (1999). Rampim et al. (2013) verificaram $10,43 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo na camada de 0,20-0,40 m do solo com aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso, em Latossolo Vermelho eutroférico de textura muito argilosa, em cultivo de soja e trigo.

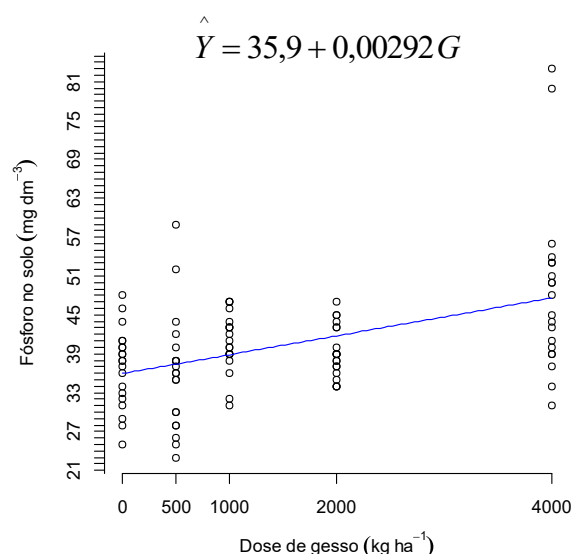


Figura 4.46. Teor de fósforo (P) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

O teor de K na camada de 0-0,20 m do solo (Tabelas 4.17 e 4.19), foi influenciado significativamente pela adição de gesso e potássio no solo. Caires et al. (2004), Ramos (2011), Costa (2011), Rocha (2013), Tarsitano (2013), Nóia et al. (2014), Nora et al. (2014) e Vicensi (2015) em trabalhos clássicos com doses crescentes de gesso agrícola, não observaram efeitos significativos para os teores de potássio no solo, quanto à aplicação desse resíduo, diferentemente dos resultados verificados no presente estudo, quando além do gesso foram avaliadas doses de potássio.

Na profundidade de 0-0,20 m (Figura 4.47), doses crescentes de gesso reduziram o teor de K no solo com aplicação de até $3.833,33 \text{ kg ha}^{-1}$ de gesso, o que pode estar relacionado à percolação de potássio no solo na forma iônica, após ser deslocado das cargas elétricas do solo pela ação do cálcio (RAIJ, 2008) ou, à formação de compostos estáveis entre esse elemento e o ânion sulfato (K_2SO_4), que posteriormente, foi percolado para camadas

mais profundas. Michalovicz (2012) e Meert (2013), também observaram redução no teor de potássio na camada de 0-0,20 m com aplicação de gesso agrícola. Ainda na Figura 4.47, observa-se que as doses de potássio adicionadas ao solo, elevaram os teores de K na referida camada, com aplicação de até 360 kg ha⁻¹ de K₂O.

$$\hat{Y} = 2,30 - 0,000414G + 0,00149K + 0,0000000540G^2$$

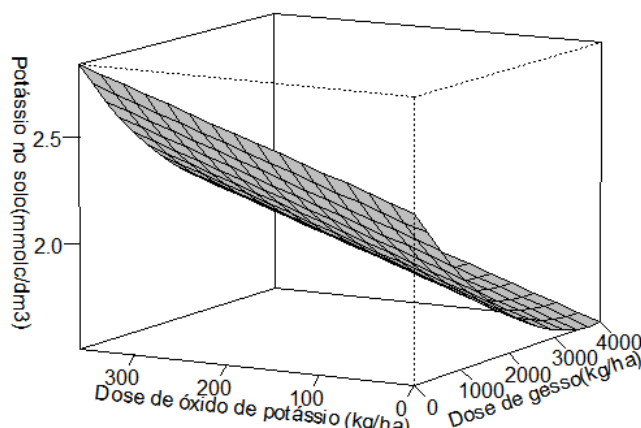


Figura 4.47. Teor de potássio (K) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.

O teor mínimo de potássio verificado na camada de 0-0,20 m com aplicação de 3.833,33 e 0 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, foi de 1,50 mmol_c dm⁻³, teor esse, considerado “médio” segundo Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de K no solo entre 1,04 a 1,79 mmol_c dm⁻³. Rocha (2011) relatou 0,54 mmol_c dm⁻³ de potássio na camada de 0-0,20 m do solo aplicando 8.000 kg ha⁻¹ de gesso, não observando efeitos significativos desse resíduo para o teor de potássio.

Michalovicz (2012) e Vicensi (2015) aplicando 3.000 kg ha⁻¹ de gesso em Latossolo Bruno, verificaram 2,30 e 4,70 mmol_c dm⁻³, respectivamente, para o teor de potássio na camada de 0-0,20 m do solo. Meert (2013) relatou 4,15 mmol_c dm⁻³ para o teor de potássio no perfil de 0-0,20 m em resposta à aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso.

Em relação ao teor de potássio na camada de 0,20-0,40 m do solo (Figura 4.48), a aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso resultou em decréscimos de 0,0001565 mmol_c dm⁻³ no teor desse nutriente, indicando, possível percolação de K para camadas mais profundas às estudadas. O mínimo teor de potássio verificado na camada de 0,20-0,40 m com a aplicação da dose máxima de gesso, foi de 2,40 mmol_c dm⁻³, teor esse, considerado “bom” (1,81 a 3,06 mmol_c dm⁻³ de K) segundo Alvarez V. et al. (1999). Vicensi (2015) não observou efeitos significativos para o teor de potássio na camada de 0,20-0,40 m do solo, em função da aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso, relatando teor médio 1,6 mmol_c dm⁻³ de potássio na

referida camada. Tarsitano (2013) aplicando 4.500 kg ha⁻¹ de gesso em Latossolo Vermelho distrófico, verificou teor médio de 3,20 mmol_c dm⁻³ de potássio na camada de 0,20-0,40 m, sem efeitos significativos da aplicação do gesso.

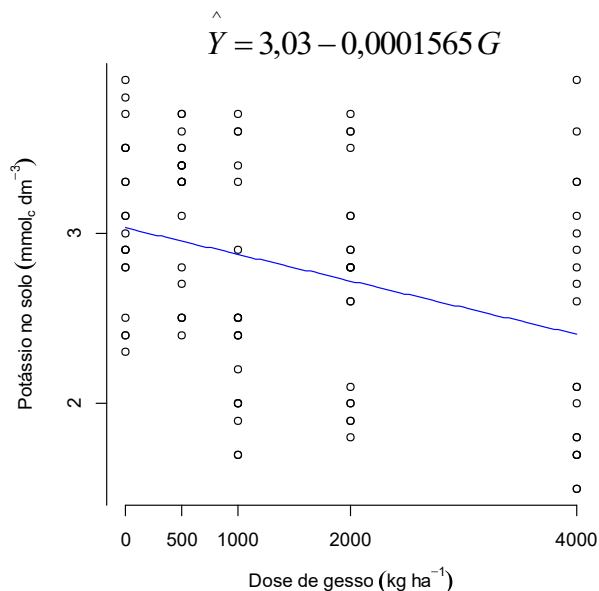


Figura 4.48. Teor de potássio (K) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo (Figuras 4.49-A e 4.49-B), os teores de cálcio aumentaram linearmente com a aplicação do gesso, corroborando com os efeitos observados por Caires et al. (2011), Ramos (2011), Michalovicz (2012) e Meert (2013), quanto ao incremento de cálcio no solo em resposta à aplicação de gesso.

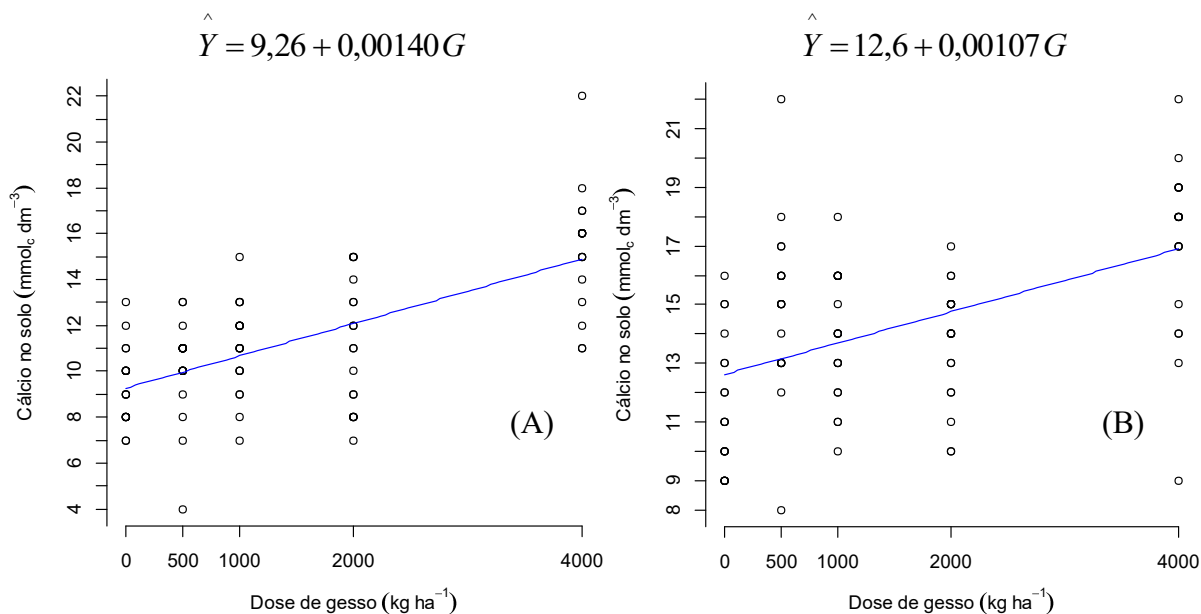


Figura 4.49. Teor de cálcio (Ca) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Para cada quilograma por hectare de gesso adicionado ao solo, foram verificados incrementos de 0,00140 e 0,00107 mmol_c dm⁻³ de cálcio nas camadas de 0-0,20 (Figura 4.49-A) e 0,20-0,40 m (Figura 4.49-B), respectivamente, o que é atribuído à concentração de cálcio (18% de Ca) presente no gesso utilizado neste estudo. A aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, resultou nos máximos teores de cálcio nas referidas profundidades, ou seja, 17,51 e 16,88 mmol_c dm⁻³, teores esses, considerados “médios”, ou seja, teores de cálcio no solo entre 12,1 a 24,0 mmol_c dm⁻³ (ALVAREZ V. et al., 1999). Em um Argissolo Amarelo distrocoeso, Rocha (2013), avaliando diferentes doses de gesso em cultivo de sorgo sacarino, verificou aumento nos teores de cálcio no solo após aplicação do gesso, relatando teores de 8,2 e 7,2 mmol_c dm⁻³ de cálcio nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m, respectivamente, com 4.000 kg ha⁻¹ de gesso.

O teor de magnésio na camada de 0-0,20 m foi influenciado significativamente pelo gesso adicionado ao solo (Tabelas 4.17 e 4.19), verificando-se redução no teor desse nutriente com aplicação de até 2.458,67 kg ha⁻¹ de gesso (Figura 4.50).

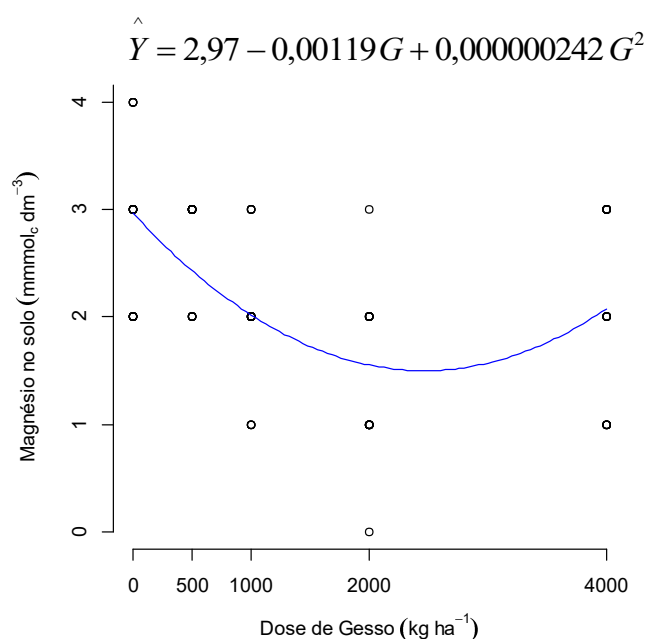


Figura 4.50. Teor de magnésio (Mg) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

A redução no teor de magnésio no solo após a aplicação do gesso, pode ser atribuída ao excesso de íons cálcio em solução, favorecendo o deslocamento do magnésio dos sítios de troca, sendo, posteriormente, lixiviado para camadas mais profundas do solo após a formação de complexos com o ânion sulfato (ZAMBROSI et al., 2007; SOMAVILLA, 2014). Quaggio et al. (1982), Silva et al. (1997), Soratto & Crusciol (2008), Rampim et al. (2011),

Serafim et al. (2012) e Ramos et al. (2013), também observaram redução no teor de magnésio no solo após a adição de gesso.

O máximo e mínimo teor de magnésio verificado na camada de 0-0,20 m com aplicação das doses 0 e 2.458,67 kg ha⁻¹ de gesso foram de 2,97 e 1,51 mmol_c dm⁻³, respectivamente. Rocha (2013) não observou efeitos significativos para os teores de magnésio em resposta à aplicação do gesso agrícola, verificando teor médio de 1,9 mmol_c dm⁻³ em resposta à aplicação de 2.000 kg ha⁻¹ de gesso.

Na profundidade de 0,20-0,40 m foi verificada interação significativa entre os fatores avaliados para o teor de magnésio no solo (Tabelas 4.18 e 4.20), o qual, reduziu com aplicação de até 3.140,29 e 360 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente (Figura 4.51). Semelhante ao efeito observado na camada de 0-0,20 m, o aumento na concentração de cálcio e potássio na camada de 0,20-0,40 m, somado à textura do solo da área experimental (média), refletiram na menor concentração de íons magnésio nessa camada. Com aplicação das doses de 3.140,29 e 360 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, verificou-se o mínimo teor de magnésio no solo (1,25 mmol_c dm⁻³), teor esse, próximo ao relatado por Rocha (2013), de 1,30 mmol_c dm⁻³, verificado após a aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso.

Para Alvarez V. et al. (1999), os teores de magnésio verificados nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m no presente estudo, são classificados como “baixos”, pois são teores compreendidos entre 1,6 a 4,5 mmol_c dm⁻³.

$$\hat{Y} = 4,51 - 0,000873G - 0,00148K + 0,000000139G^2$$

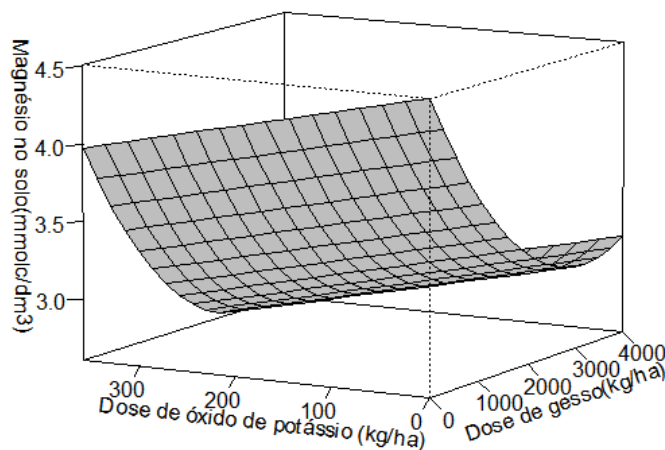


Figura 4.51. Teor de magnésio (Mg) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.

Em relação ao alumínio na camada de 0-0,20 m, não foi observado efeito significativo da aplicação do gesso ou potássio no teor desse nutriente (Tabela 4.17), concordando com os efeitos relatados por Ramos (2011), cujo autor verificou teor médio de

3,45 mmol_c dm⁻³ para o alumínio na profundidade de 0-0,20 m, não observando efeitos significativos nos teores desse nutriente em resposta à aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Foi verificado no presente estudo, teor médio de 4,42 mmol_c dm⁻³ para o alumínio na referida camada, teor considerado “baixo” segundo Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de alumínio no solo entre 2,1 a 5,0 mmol_c dm⁻³.

Na camada de 0,20-0,40 m, o teor de alumínio no solo foi influenciado significativamente apenas pela aplicação do potássio (Tabelas 4.18 e 4.20). Na Figura 4.52, verifica-se o aumento linear de 0,00303 mmol_c dm⁻³ no teor desse nutriente a cada quilograma por hectare de K₂O adicionado ao solo. A aplicação de até 360 kg ha⁻¹ de K₂O, resultou no máximo teor de alumínio na referida camada, ou seja, 3,94 mmol_c dm⁻³, teor considerado “baixo” para o solo (ALVAREZ V. et al. (1999). Esse aumento no teor de alumínio em resposta à aplicação de K₂O, pode estar relacionado a ligação de K às cargas negativas do solo na camada de 0-0,20 m, o que contribuiu para o deslocamento do Al para a solução do solo, com posterior percolação para camadas mais profundas, como a de 0,20-0,40 m.

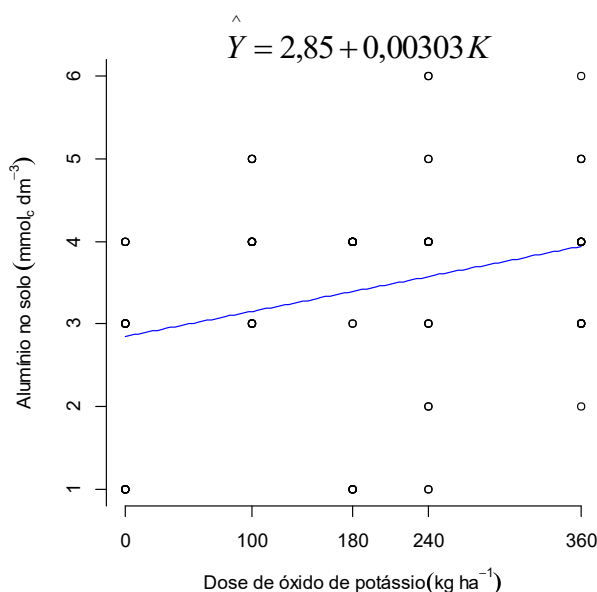


Figura 4.52. Teor de alumínio (Al) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.

A acidez potencial (H+Al) na camada de 0-0,20 m, respondeu de maneira significativa à aplicação do gesso (Tabelas 4.17 e 4.19), verificando-se aumento linear desse atributo (Figura 4.53), o que pode ser atribuído a baixa neutralização de alumínio na camada de 0-0,20 m do solo, em função da lixiviação de bases para camadas mais profundas, o que pode influenciar no aumento de íons hidrogênio e alumínio nessa camada. Contudo, não é

possível afirmar tal suposição, pois, não foram observados efeitos significativos para os teores de alumínio na camada de 0-0,20 m (Tabela 4.16) em função do gesso aplicado.

A máxima acidez potencial ($22,96 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) verificada com a dose máxima de gesso, é inferior às médias relatadas por Caires et al. (1998), $68,50 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para H+Al na camada de 0-0,20 m com a aplicação de 3.000 kg ha^{-1} de gesso; e, por Rocha (2013), que relatou $79,30 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para H+Al na camada de 0-0,20 m com 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Entretanto, Caires et al. (1998) e Rocha (2013), não observaram efeitos significativos da aplicação do gesso nos valores desse atributo.

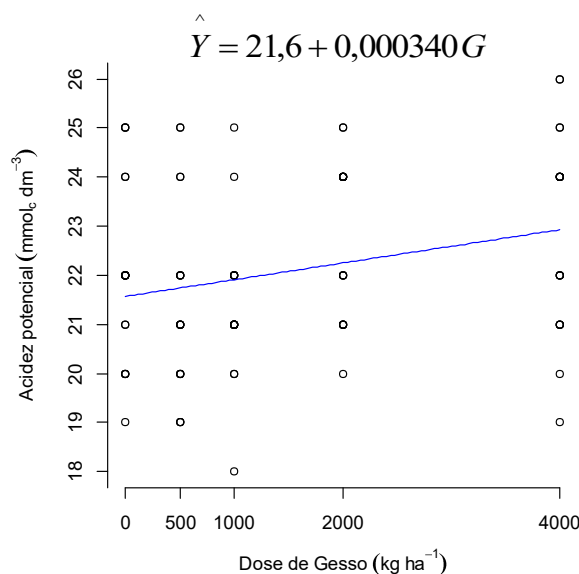


Figura 4.53. Acidez potencial (H+Al) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Para a acidez potencial na camada de 0,20-0,40 m do solo, não foram observados efeitos significativos da aplicação das doses de gesso e K_2O nos valores desse atributo (Tabela 4.17), verificando-se o valor médio de $22,39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na referida camada. Vicensi (2015) também não observou efeitos significativos para a acidez potencial na camada de 0,20-0,40 m do solo em resposta à aplicação de 3.000 kg ha^{-1} de gesso, relatando teor médio de $88,20 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para esse atributo. Segundo Alvarez V. et al. (1999), os valores de acidez potencial verificados no presente estudo são considerados “baixos”, ou seja, valores de H+Al no solo entre $10,1$ a $25,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Os valores de soma de bases (SB) nos perfis de 0-0,20 (Tabelas 4.17 e 4.19) e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.18 e 4.20), foram influenciados significativamente apenas em função da aplicação do gesso. Nas Figuras 4.54-A e 4.54-B, nota-se o aumento linear dos valores desse atributo com aplicação de até 4.000 kg ha^{-1} de gesso, verificando-se $20,94$ e $21,97 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para SB nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, respectivamente.

Em um Latossolo Vermelho distrófico, Faria et al. (2007), verificaram teor médio de $24,44 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a soma de bases na camada de 0-0,15 m do solo após a aplicação de 930 kg ha^{-1} de gesso. Leal et al. (2012) ao avaliarem diferentes doses de gesso no cultivo de algodão em Latossolo Vermelho Distrófico argiloso, verificaram $36,33 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para os valores de SB na camada de 0,20-0,40 m do solo, com 4.000 kg ha^{-1} de gesso aplicado em sistema de plantio convencional.

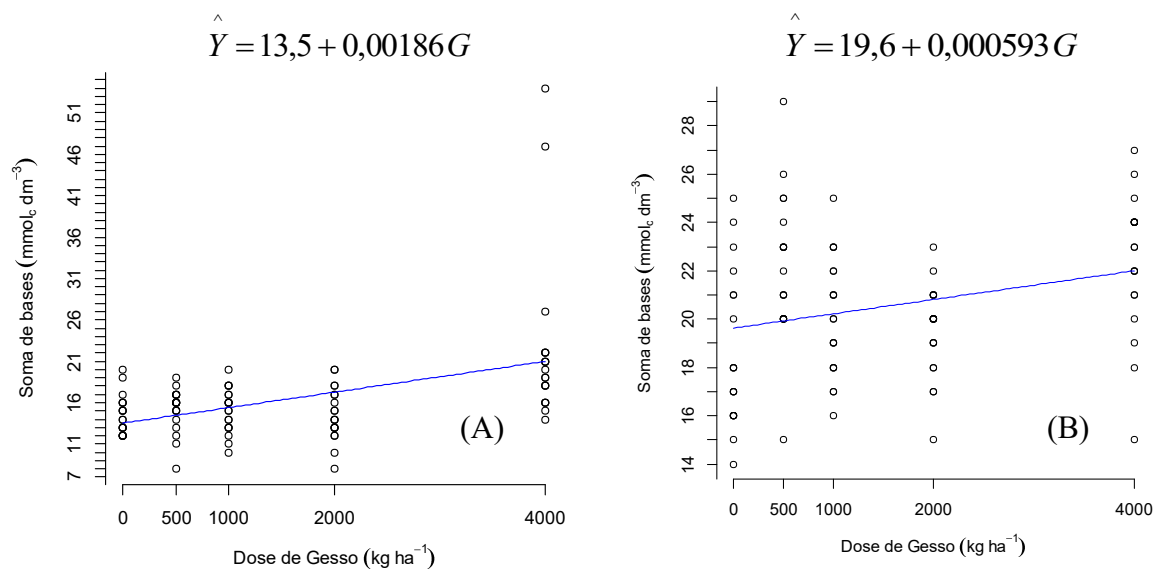


Figura 4.54. Soma de bases (SB) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Vale ressaltar ainda que, o aumento da soma de bases verificado nas profundidades estudadas em função da aplicação do gesso, pode ser explicado pela adição direta de cálcio, em todas as camadas, que, somado ao potássio, foram incorporados na camada subsuperficial do solo, apresentando melhor distribuição e movimentação no perfil do solo estudado, refletindo no aumento dos teores desse atributo. Ainda, segundo Alvarez V. et al. (1999), os valores de soma de bases verificados no presente estudo são considerados “médios”, ou seja, valores de SB no solo entre $18,1$ a $36,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$

A capacidade de troca catiônica calculada (CTC) na camada de 0-0,20 m do solo, foi influenciada significativamente apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.16 e 4.18), o qual promoveu efeito linear crescente nos teores desse atributo (Figura 4.55). Jesus et al. (2007), Neis et al. (2010) e Ramos (2011), também observaram efeitos da aplicação do gesso na CTC do solo. Pesquisadores como Wadt (2000), atribuem esse aumento na CTC do solo em função da aplicação do gesso, à adsorção do íon sulfato em solução, que transfere sua carga elétrica à superfície adsorvente, gerando sítios para adsorção de novos cátions. Contudo, para

Ravazzi (2009), é a CTC calculada, ao contrário da determinada, que aumenta com aplicação do gesso.

A máxima CTC calculada ($43,90 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada de 0-0,20 m do solo em função da aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso é superior à verificada por Ramos (2011), $31,15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na camada de 0-0,20 m com a aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Embora o gesso tenha elevado o valor da CTC calculada na camada de 0-0,20 m do solo, o valor verificado é considerado “médio” para Alvarez V. et al. (1999), ou seja, valores de CTC calculada no solo entre $43,1$ a $86,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o que pode ser atribuído à baixa retenção de cátions no solo, em função da textura do solo (média) da área experimental.

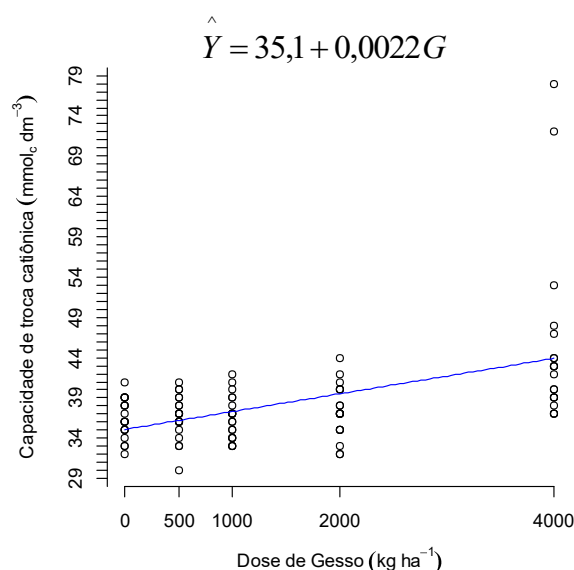


Figura 4.55. Capacidade de troca catiônica calculada (CTC) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Para a CTC calculada na profundidade de 0,20-0,40 m do solo, não foram observados efeitos significativos da aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.18) nos valores desse atributo, verificando-se valor médio de $42,91 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o qual é considerado “baixo” para Alvarez V. et al. (1999), ou seja, valores de CTC calculada no solo entre $16,1$ a $43,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

As saturações por bases (V%) nas camadas de 0-0,20 (Tabelas 4.17 e 4.19) e 0,20-0,40 m (Tabelas 4.18 e 4.20) do solo, foram influenciadas significativamente apenas em função da aplicação do gesso. Martins et al. (2002), Saldanha et al. (2007), Foltran (2008), Vilela et al. (2010) e Ramos (2011), também observaram aumento significativo na saturação por bases no solo em resposta à aplicação de gesso, o qual é proporcionado pela movimentação do cálcio no perfil do solo após a solubilização do gesso.

Na Figura 4.56-A, verifica-se que a dose máxima de gesso (4.000 kg ha^{-1}) resultou na máxima saturação por bases na camada de 0-0,20 m (46,02%), saturação essa, próxima à verificada por Ramos (2011) na profundidade de 0-0,20 m após a aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso no solo, ou seja, 43,64%. Nóia et al. (2014) relataram 45,81% para a V% na camada de 0-0,20 m, em um solo de textura arenosa em resposta à aplicação de até 8.000 kg ha^{-1} de gesso, porém, esses autores não observaram efeitos significativos da aplicação do gesso nos valores desse atributo. Tarsitano (2013) não verificou efeitos significativos da aplicação de 4.500 kg ha^{-1} de gesso para os valores de V%, relatando valor médio de 60,96% para esse atributo na camada de 0-0,20 m do solo.

Na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.56-B), verificou-se efeitos significativos da aplicação do gesso para os valores de V%, o que resultou no valor máximo de 49,93% para esse atributo, em resposta à aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Ramos (2011) verificou saturação máxima de 20,45% na profundidade de 0,20-0,40 m, aplicando 4.000 kg ha^{-1} de gesso. Nóia et al. (2014) verificaram valor médio de 42,39% para a V% na camada de 0,20-0,40 m após a aplicação de 8.000 kg ha^{-1} de gesso em solo arenoso, não observando efeitos significativos da aplicação do gesso para os valores desse atributo.

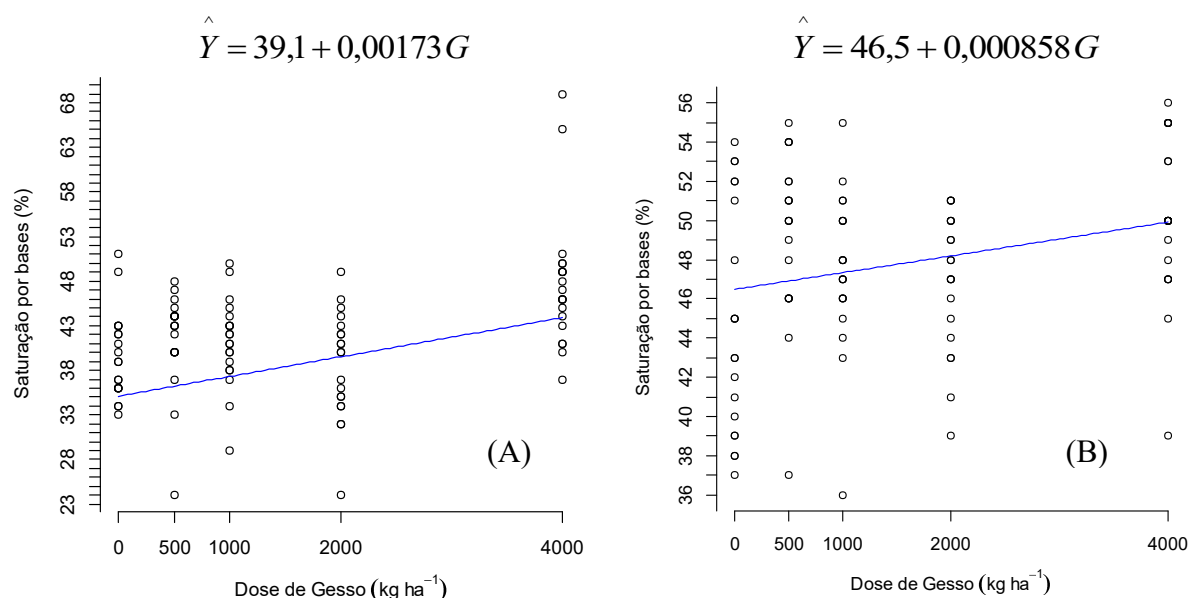


Figura 4.56. Saturação por bases (V%) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Para Soratto & Crusciol (2008) e Ramos (2011), o aumento na saturação por bases em função da aplicação do gesso, é decorrente da adição de cálcio ao solo, ocasionada pela solubilização do gesso, que acompanhado do ânion sulfato, apresenta maior mobilidade no perfil do solo. Importante ressaltar ainda que, os valores verificados para V% no presente

estudo são classificados como “médios” para Alvarez V. et al. (1999), ou seja, valores entre 40,1 a 60,0% para V% no solo.

Foi verificada interação significativa entre os fatores avaliados para o teor de enxofre na camada de 0-0,20 m do solo (Tabelas 4.16 e 4.18). Na Figura 4.57-A, verifica-se que o teor de enxofre na referida camada aumentou com aplicação de até 4.000 e 360 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, verificando-se o teor máximo de 39,40 mg dm⁻³ de enxofre na camada de 0-0,20 m.

Na camada de 0,20-0,40 m do solo (Figura 4.57-B), houve aumento linear no teor de enxofre com aplicação de gesso (Tabelas 4.17 e 4.19), verificando-se incrementos de 0,00464 mg dm⁻³ no teor de enxofre a cada quilograma de gesso aplicado ao solo. Rampim (2008), Costa (2011), Tarsitano (2013), Meert (2013), Somavilla (2014) e Pauletti et al. (2014), também observaram aumento no teor de enxofre em profundidade com aplicação do gesso agrícola. Esse aumento no teor de enxofre no solo com aplicação do gesso, é justificado pela quantidade de enxofre (15%) presente no gesso adicionado ao solo, bem como pela mobilidade do ânion sulfato no perfil do solo, o que ocasiona o aumento no teor de desse nutriente em camadas mais profundas.

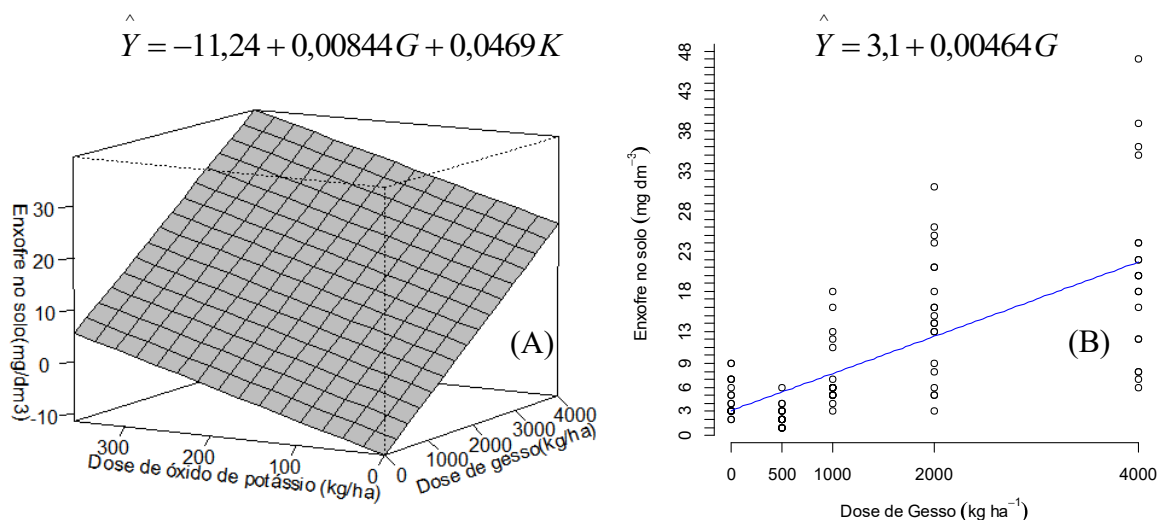


Figura 4.57. Teor de enxofre (S) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso e potássio (A) e gesso (B) em cultivo de sorgo em grãos.

Com a aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, o máximo teor de enxofre verificado na profundidade de 0,20-0,40 m foi de 21,66 mg dm⁻³. Ramos (2011) observou aumento linear no teor de enxofre com aplicação de doses crescentes de gesso, verificando 101,32 mg dm⁻³ de enxofre na camada de 0,20-0,40 m do solo, com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso. Meert (2013) também observou aumento no teor de enxofre na camada de 0,20-0,40 m com

aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, relatando teor de 30,10 mg dm⁻³ de enxofre. Importante destacar ainda que, os teores de enxofre verificados no presente estudo, são classificados como “altos”, ou seja, teores de enxofre no solo acima de 10 mg dm⁻³ (RAIJ et al., 1997).

Os teores de boro nas profundidades de 0-0,20 (Tabelas 4.17 e 4.19) e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.18 e 4.20), foram influenciados significativamente apenas pela aplicação do gesso, diferentemente dos resultados relatados por Rocha (2011), cujo autor não verificou efeitos significativos da aplicação do gesso nos teores desse nutriente. Na Figura 4.58-A, verifica-se redução linear no teor de boro com o aumento da aplicação do gesso, o que pode ser atribuído à lixiviação desse nutriente para a camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.58-B), em função da textura do solo da área experimental (média), somado às precipitações que ocorreram ao longo do cultivo de sorgo para produção de grãos, os quais, refletiram no deslocamento desse nutriente no perfil do solo após a adição de gesso. O mínimo teor de boro verificado na camada de 0-0,20 m com a dose máxima de gesso foi de 0,34 mg dm⁻³, teor esse, inferior ao relatado por Rocha (2011), 0,66 mg dm⁻³ de boro no perfil de 0-0,20 m do solo, com aplicação de 8.000 kg ha⁻¹ de gesso.

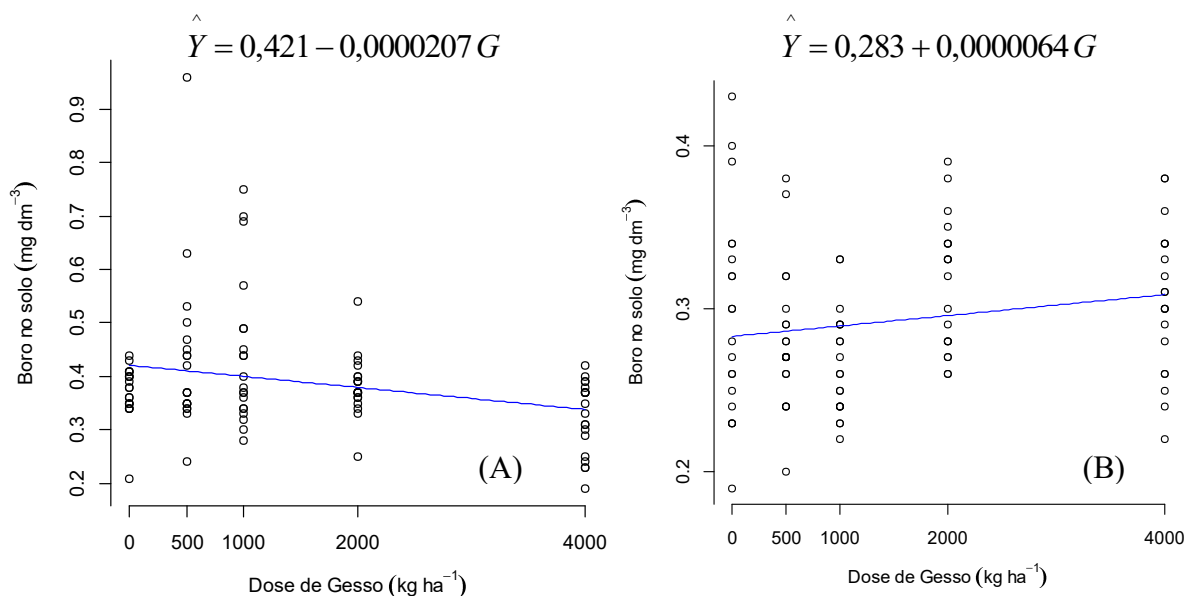


Figura 4.58. Teor de boro (B) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.58-B), houve aumento linear no teor de boro com aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, efeito ocasionado pela possível percolação de boro da camada de 0-0,20 m (Figura 4.58-A). O máximo teor de boro (0,31 mg dm⁻³) verificado na camada de 0,20-0,40 m é inferior ao relatado por Rocha (2013), 0,659 mg dm⁻³ de boro na profundidade de 0,20-0,40 m do solo, em função da aplicação de 8.000 kg ha⁻¹ de

gesso. No presente estudo, os teores de boro verificados nas camadas estudadas são classificados como “baixos”, ou seja, teores entre 0,16 e 0,35 mg dm⁻³ de boro no solo, segundo Alvarez V. et al. (1999), porém, para Raij et al. (1997), os teores de boro são classificados como “médios” (0,21 a 0,60 mg dm⁻³ de B no solo).

O teor de cobre na camada de 0-0,20 m foi influenciado significativamente apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.17 e 4.19), diferentemente dos resultados relatados por Ramos (2011), que não observou efeitos significativos da aplicação do gesso para os teores desse nutriente. Na Figura 4.59, verifica-se o aumento no teor de cobre com aplicação de até 2.373,42 kg ha⁻¹ de gesso, pois doses superiores à 2.373,42 kg ha⁻¹ de gesso, resultaram na redução desse nutriente, o que pode ser atribuído à formação de pares iônicos entre o cobre e o sulfato (CuSO₄) ou, ao deslocamento desse elemento das cargas elétricas do solo, ocasionado pelo excesso de íons cálcio, sendo posteriormente, lixiviado no perfil do solo.

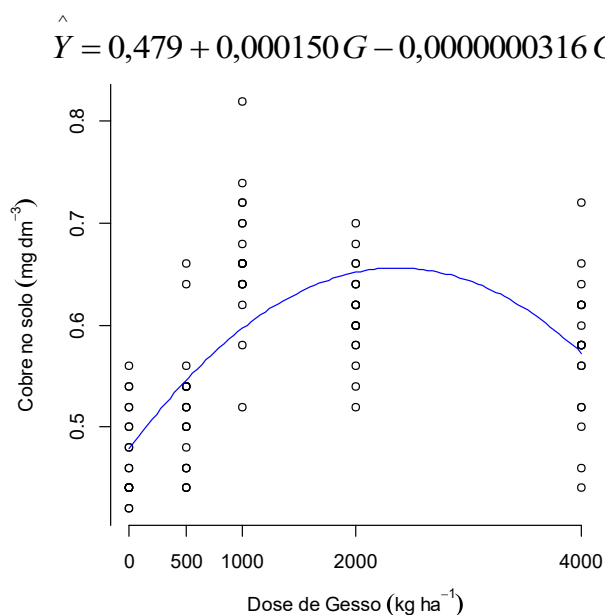


Figura 4.59. Teor de cobre (Cu) na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

O máximo teor de cobre (0,66 mg dm⁻³) verificado com a dose de 2.373,42 kg ha⁻¹ na camada de 0-0,20 m é classificado como “bom” segundo Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de cobre no solo entre 0,61 a 0,90 mg dm⁻³. Ramos (2011) relatou 0,49 mg dm⁻³ de cobre na profundidade de 0-0,20 m do solo aplicando 8.000 kg ha⁻¹ de gesso, porém, o autor não observou efeitos significativos da aplicação do gesso nos teores de cobre.

Na profundidade de 0,20-0,40 m do solo, foi verificada interação significativa entre os fatores avaliados para o teor de cobre (Tabelas 4.18 e 4.20), cujo teor, elevou-se com aplicação de até 2.373,94 e 203,33 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, verificando-se

redução significativa no teor desse nutriente com doses superiores às mencionadas (Figura 4.60), efeito atribuído ao possível deslocamento do cobre das cargas elétricas do solo, devido ao aumento de íons cálcio e potássio nessa camada, o que resultou na lixiviação desse nutriente para camadas mais profundas às estudadas

$$\hat{Y} = 0,441 + 0,0000565 G + 0,000488 K - 0,0000000119 G^2 - 0,00000120 K^2$$

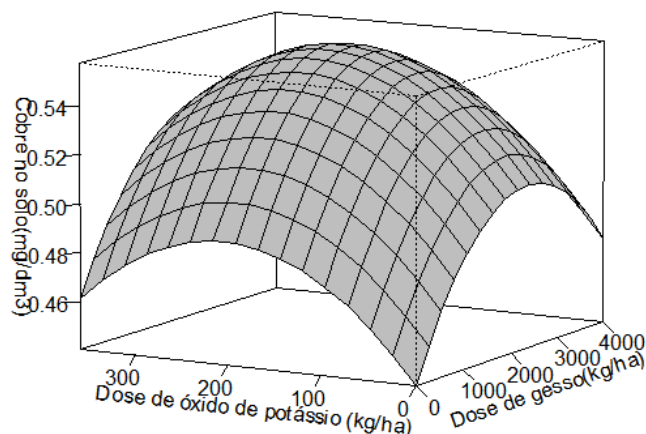


Figura 4.60. Teor de cobre (Cu) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.

Ramos (2011) não observou efeitos significativos da aplicação de doses crescentes de gesso para o teor de cobre na camada de 0,20-0,40 m, relatando teor médio de 0,538 mg dm⁻³ com aplicação de 8.000 kg ha⁻¹ de gesso. A aplicação de 2.373,94 e 203,33 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, resultou no máximo teor de cobre na camada de 0,20-0,40 m, ou seja, 0,56 mg dm⁻³, teor esse, considerado “médio” (0,36 a 0,60 mg dm⁻³ de Cu) segundo Alvarez V. et al. (1999).

O teor de ferro na camada de 0-0,20 m não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.17), verificando-se teor médio de 36,05 mg dm⁻³ para esse nutriente na referida camada. Rocha (2011) também não observou efeitos significativos para o teor de ferro na camada de 0-0,20 m do solo após a aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso.

Na camada de 0,20-0,40 m (Tabelas 4.18 e 4.20), o teor de ferro foi influenciado significativamente apenas pela aplicação de potássio. Na Figura 4.61, verifica-se que o teor de ferro no solo, elevou-se com aplicação de até 227,90 kg ha⁻¹ de K₂O, resultando no máximo teor desse nutriente na camada de 0,20-0,40 m, o qual foi de 38,57 mg dm⁻³. Doses de potássio superiores à 227,90 kg ha⁻¹ de K₂O, promoveram decréscimos nos teores desse nutriente. Importante destacar ainda que, os teores de ferro verificados no presente estudo são

classificados como “bons” para Alvarez V. et al. (1999), ou seja, teores de ferro no solo entre 31,0 a 45,0 mg dm⁻³.

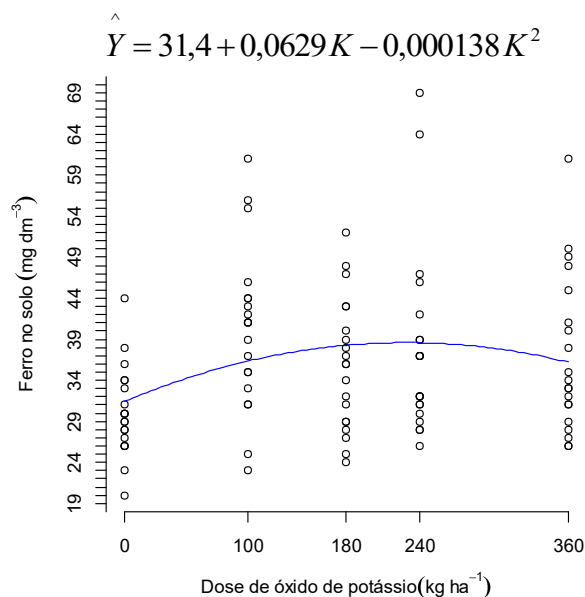


Figura 4.61. Teor de ferro (Fe) na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.

Para o teor de manganês nas camadas de 0-0,20 (Tabelas 4.17 e 4.19) e 0,20-0,40 m (Tabelas 4.18 e 4.20) do solo, verificou-se efeito significativo apenas da aplicação de K₂O. Na Figura 4.62-A, verifica-se o aumento linear no teor desse nutriente na camada de 0-0,20 m, com aplicação de até 360 kg ha⁻¹ de K₂O, resultando no máximo teor de manganês na referida camada, ou seja, 8,87 mg dm⁻³, teor esse, considerado “médio” para o solo, ou seja, teores de Mn entre 6 a 8 mg dm⁻³ (ALVAREZ V. et al., 1999)

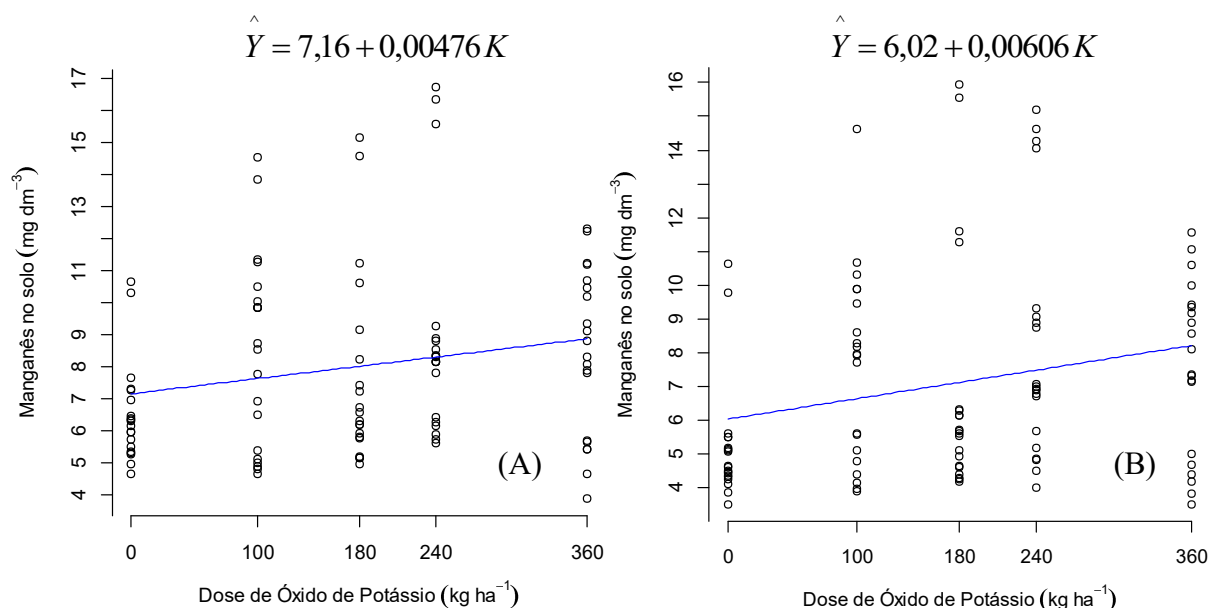


Figura 4.62. Teor de manganês (Mn) nas camadas de 0-0,20 (A) e 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de potássio em cultivo de sorgo em grãos.

Na profundidade de 0,20-0,40 m do solo (Figura 4.62-B), doses crescentes de K_2O provocaram o aumento linear no teor de manganês, verificando-se incrementos de $0,00606 \text{ mg dm}^{-3}$ no teor desse nutriente a cada quilograma por hectare de potássio adicionado ao solo, o que resultou no máximo teor de manganês na profundidade de 0,20-0,40 m ($8,20 \text{ mg dm}^{-3}$), teor considerado “médio” para o solo segundo Alvarez V. et al. (1999). O aumento no teor de manganês no perfil do solo estudado em função da aplicação de potássio, pode ser justificado pelo deslocamento de Mn para a solução do solo, após o K ligar-se às cargas negativas do solo.

Para o teor de zinco nas camadas de 0-0,20 (Tabelas 4.17 e 4.19) e 0,20-0,40 m (Tabelas 4.18 e 4.20) do solo, foi verificado apenas o efeito significativo da aplicação do gesso nos teores desse nutriente, discordando dos resultados relatados por Rocha (2011). Na camada de 0-0,20 m (Figura 4.63-A), o teor de zinco reduziu linearmente com aplicação do gesso, verificando-se com a dose máxima de gesso, o teor mínimo de $2,18 \text{ mg dm}^{-3}$ de zinco na referida camada.

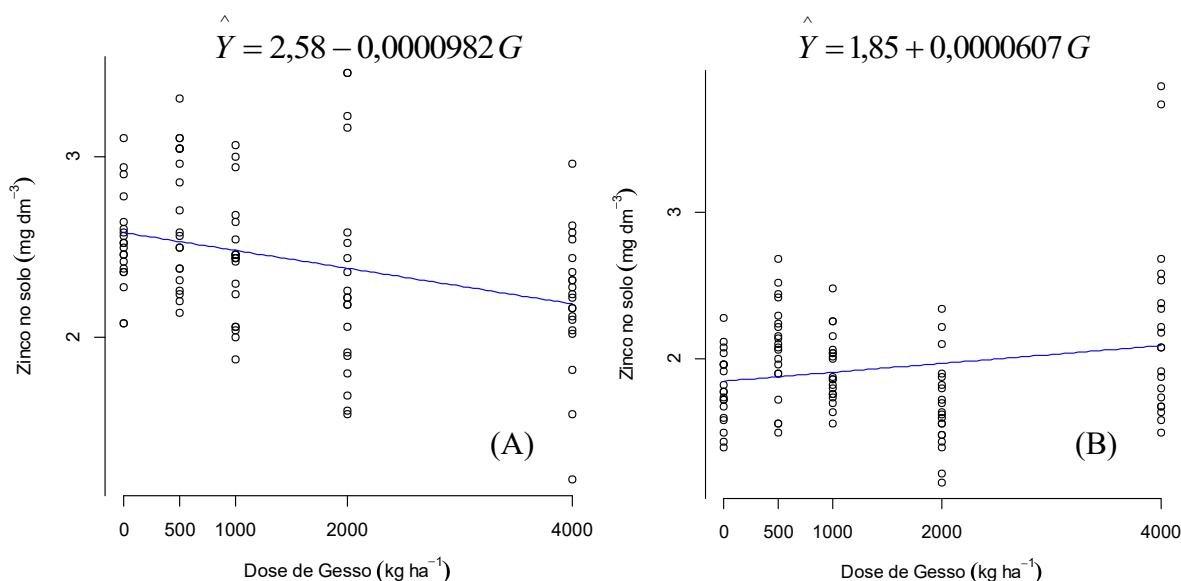


Figura 4.63. Teor de zinco (Zn) nas camadas de 0-0,20 (A) de 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Semelhante ao observado para o teor de cobre nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo (Figuras 4.59 e 4.60), pode ter ocorrido a formação de complexos estáveis entre o zinco e sulfato ou, o deslocamento do zinco das cargas elétricas do solo pelo aumento de cálcio em solução, com posterior percolação para a camada de 0,20-0,40 m, o que resultou no aumento do teor desse nutriente com aplicação do gesso (Figura 4.63-B). A dose máxima de gesso, resultou no máximo teor de zinco na camada de 0,20-0,40 m do solo, ou seja,

2,10 mg dm⁻³. Rocha (2011) não verificou efeitos significativos para os teores de zinco no perfil de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo em resposta à aplicação de gesso agrícola, relatando teores médios de 0,31 e 0,62 mg dm⁻³ para zinco, nas respectivas camadas. Vale destacar ainda que, os teores de zinco verificados no presente estudo são classificados como “bons”, ou seja, teores de zinco no solo entre 1,6 a 2,2 mg dm⁻³ (ALVAREZ V. et al., 1999).

Os valores da relação Ca/Mg nas camadas de 0-0,20 (Tabelas 4.17 e 4.19) e 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.18 e 4.20), foram influenciados significativamente apenas pelas doses de gesso. Na camada de 0-0,20 m (Figura 4.64-A), a relação Ca/Mg aumentou linearmente em resposta ao gesso aplicado, o que pode ser justificado pelo aumento de cálcio na referida camada (Figura 4.49-A), após a solubilização do gesso. Com a aplicação da dose máxima de gesso verificou-se a máxima relação Ca/Mg na camada de 0-0,20 m, ou seja, 10,38.

Na profundidade de 0,20-0,40 m do solo (Tabelas 4.18 e 4.20), doses crescentes de gesso promoveram o aumento linear na relação Ca/Mg (Figura 4.64-B), verificando-se 5,93 para essa relação na referida profundidade. Esse aumento na relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m em função da aplicação do gesso, também foi relatado por Saldanha et al. (2007), Ramos (2011) e Vicensi (2015), sendo o mesmo, justificado pelo incremento de cálcio no solo após a solubilização do gesso, resultando na maior concentração de cálcio (Figura 4.49-B) em comparação aos teores de magnésio (Figura 4.51), os quais foram decrescentes com aplicação do gesso nessa camada.

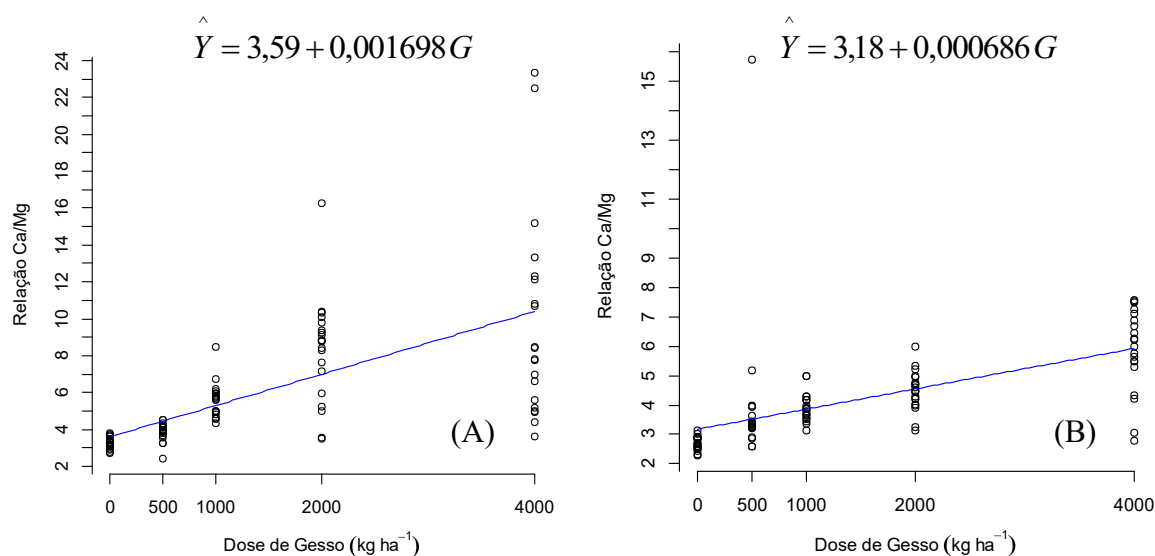


Figura 4.64. Relação Ca/Mg nas camadas de 0-0,20 (A) de 0,20-0,40 m (B) do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Em um Latossolo Bruno distrófico, Vicensi (2015), relatou 2,78 para a relação Ca/Mg na camada de 0,20-0,40 m, relação verificada após a aplicação de 3.000 kg ha⁻¹ de gesso no solo. Ramos (2011) verificou 3,73 para a relação Ca/Mg aplicando 4.000 kg ha⁻¹ de gesso em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

A relação Ca/K na camada de 0-0,20 m do solo, não foi influenciada significativamente pelas doses de gesso e potássio (Tabela 4.17), verificando-se valor médio de 6,05 para essa relação. Para a relação Ca/K na de 0,20-0,40 m do solo, foi observada interação significativa entre as doses de gesso e potássio nos teores dessa relação (Tabelas 4.18 e 4.20).

Na Figura 4.65, verifica-se que a aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, elevou a relação Ca/K em função da maior concentração de íons cálcio no solo (Figura 4.49-B), provenientes da solubilização do gesso, em relação aos teores de potássio em solução (Figura 4.48), verificando-se ainda, decréscimos nessa relação com aplicação de até 222,22 kg ha⁻¹ de K₂O. Com a aplicação de 4.000 e 0 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, verificou-se a máxima relação Ca/K, ou seja, 8,54. Assim, quanto maior for a concentração de cálcio no perfil do solo em relação ao teor de potássio, maior será a relação Ca/K.

O aumento na relação Ca/K na camada de 0,20-0,40 m com aplicação de gesso, demonstra a alta solubilidade desse resíduo no solo, como também, um dos principais benefícios de sua aplicação, o fornecimento de cálcio em profundidade.

$$\hat{Y} = 5,18 + 0,000839G - 0,0136K + 0,0000306K^2$$

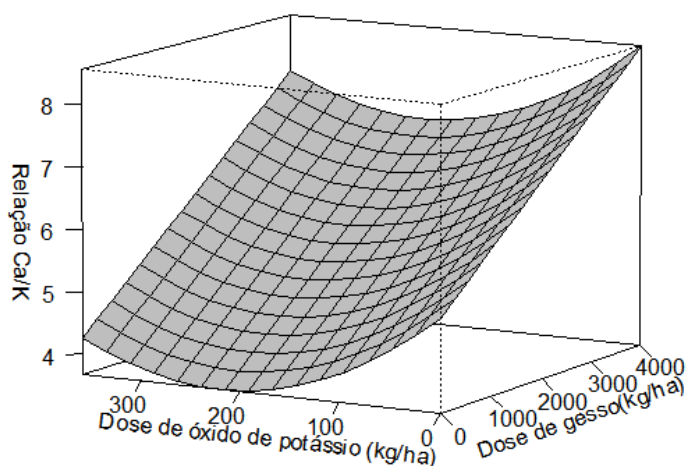


Figura 4.65. Relação Ca/K na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo em grãos.

Na Figura 4.66, verifica-se que a relação Mg/K na camada de 0-0,20 m do solo, foi influenciada significativamente apenas pela aplicação do gesso (Tabelas 4.16 e 4.18). A

adição de até 2.008,40 kg ha⁻¹ desse resíduo ao solo, reduziu os valores da relação Mg/K, verificando-se, posteriormente, elevação nos teores dessa relação com doses de gesso superiores à mencionada. Essa redução é atribuída ao carreamento de magnésio e potássio em profundidade em função da aplicação de gesso, o que reflete em menores teores desses nutrientes no perfil do solo estudado. Em função da aplicação das doses 0 e 2.008,40 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente, verificou-se a máxima e mínima relação Mg/K na camada de 0-0,20 m, ou seja, 1,19 e 0,85

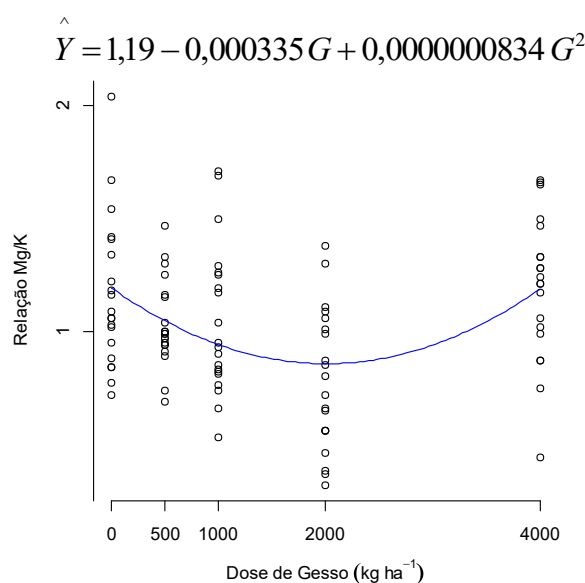


Figura 4.66. Relação Mg/K na camada de 0-0,20 m do solo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo em grãos.

Na profundidade de 0,20-0,40 m do solo (Figura 4.67), a relação Mg/K foi influenciada significativamente apenas pela aplicação de K₂O (Tabelas 4.18 e 4.20).

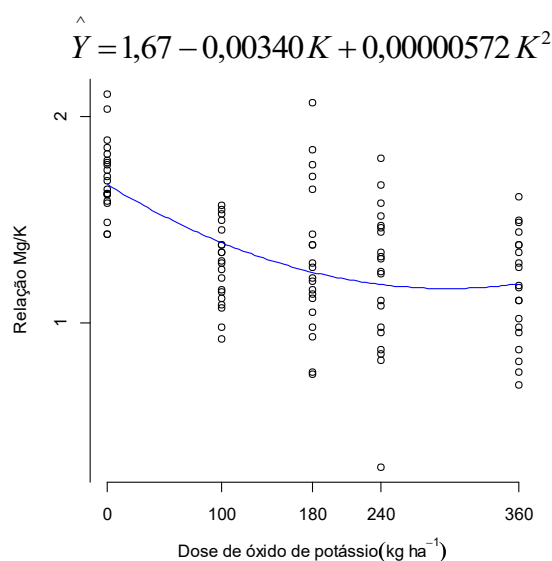


Figura 4.67. Relação Mg/K na camada de 0,20-0,40 m do solo em função de doses de potássio (K), em cultivo de sorgo em grãos, com diferentes doses de gesso e potássio.

A relação Mg/K na camada de 0,20-0,40 m reduziu de forma quadrática com aplicação de 297,91 kg ha⁻¹ de K₂O, o que pode ser explicado pela lixiviação de potássio ocorrida na camada de 0-0,20 m (Figura 4.47) em função do gesso aplicado em superfície, verificando-se maior teor desse nutriente na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.48), em comparação ao teor de magnésio (Figura 4.51), o que resultou na mínima relação Mg/K obtida nessa camada, 1,16.

O resumo da análise de variância e os modelos ajustados para o estado nutricional das plantas de sorgo para silagem, são apresentados nas Tabelas 4.21 e 4.22, por meio das quais, verifica-se efeitos significativos da aplicação do gesso para os teores foliares de N, K, Ca, S, Cu, Fe e Zn e, interação significativa entre gesso e potássio para o teor foliar de B.

O teor foliar de nitrogênio aumentou linearmente com a aplicação das doses de gesso (Tabelas 4.21 e 4.22), como pode ser observado na Figura 4.68. Verificou-se incrementos de 0,000368 g kg⁻¹ no teor desse nutriente a cada quilograma de gesso aplicado ao solo, o que proporcionou o teor máximo de 33,72 g kg⁻¹ de N foliar com a dose de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, estando esse teor dentro da faixa (25,0 a 35,0 g kg⁻¹ de N) considerada adequada para a cultura de sorgo (BATAGLIA, et al., 1983)

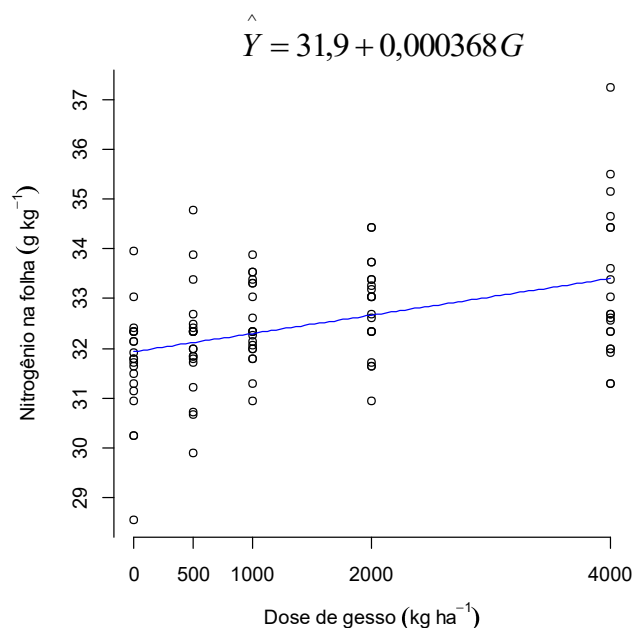


Figura 4.68. Teor foliar de nitrogênio (N) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

O teor N verificado no presente estudo é 9,48% maior que o relatado por Costa (2011), que ao avaliar os efeitos residuais do calcário e gesso nas culturas de aveia-preta, soja e sorgo granífero em Latossolo Vermelho distroférico, verificou 30,8 g kg⁻¹ de N foliar (folha+4/florescimento) com aplicação de 2.100 kg ha⁻¹ de gesso.

Tabela 4.21. Resumo da análise de variância para o estado nutricional das plantas de sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.

G	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(kg ha ⁻¹)	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0	31,67	2,82	27,12	2,56	1,60	1,30	2,14	7,52	103,41	49,90	27,54
500	32,13	3,33	24,89	2,40	1,46	1,44	0,01	7,52	84,54	48,67	29,60
1000	32,49	2,89	25,93	2,48	1,39	1,43	1,82	7,62	116,39	49,88	28,62
2000	32,85	3,11	23,41	2,68	1,20	1,54	3,45	7,18	96,19	50,15	31,64
4000	33,26	3,06	24,65	2,89	1,19	1,55	0,37	6,89	133,71	47,95	31,10
K											
(kg ha ⁻¹)											
0	32,49	2,82	24,84	2,56	1,49	1,45	2,14	7,65	103,41	47,59	29,12
100	32,45	3,19	25,01	2,48	1,27	1,43	1,14	7,07	90,07	50,43	30,42
180	31,94	2,89	25,52	2,45	1,35	1,47	1,36	7,42	108,81	49,21	29,94
240	32,93	3,07	24,87	2,62	1,31	1,42	2,84	7,17	107,89	49,95	29,95
360	32,60	3,21	25,76	2,87	1,42	1,51	0,30	7,42	124,09	49,38	29,08
Média	32,48	3,04	25,20	2,60	1,37	1,45	1,56	7,34	106,85	49,31	29,70
F _G	6,71 ^{***}	1,91 ^{ns}	8,21 ^{***}	14,72 ^{***}	7,10 ^{ns}	11,53 ^{***}	6,62 ^{ns}	2,23 ^{***}	18,77 ^{***}	0,35 ^{ns}	3,66 ^{***}
F _K	2,23 ^{ns}	1,14 ^{ns}	0,73 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,84 ^{ns}	2,91 ^{ns}	1,30 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,33 ^{ns}
F _{GxK}	1,44 ^{ns}	2,93 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,80 ^{***}	1,47 ^{ns}	0,67 ^{ns}	2,97 ^{***}	1,48 ^{ns}	1,87 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,63 ^{ns}
C.V.%	3,27	8,69	8,65	23,05	21,83	25,78	151,01	12,37	22,96	14,68	13,34

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “***” significativo a 5%; “****” significativo a 1%; “*****” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F, C.V. = coeficiente de variação

Tabela 4.22. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para os teores foliares de N, K, Ca, S, Cu, B, Fe e Zn em cultivo de sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
N	Intercepto	$3,19 \times 10^{+01}$	$1,64 \times 10^{-01}$	194,49	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-10,49
	G	$3,68 \times 10^{-04}$	$7,96 \times 10^{-05}$	4,62	$1,17 \times 10^{-05}***$	
K	Intercepto	$2,69 \times 10^{+01}$	$4,33 \times 10^{-01}$	62,25	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-6,65
	G	$-2,53 \times 10^{-03}$	$6,13 \times 10^{-04}$	-4,13	$7,67 \times 10^{-05}***$	
	G ²	$4,87 \times 10^{-07}$	$1,43 \times 10^{-07}$	3,40	$9,78 \times 10^{-04}***$	
Ca	Intercepto	2,12	$7,51 \times 10^{-02}$	28,28	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-26,88
	G	$2,38 \times 10^{-04}$	$3,64 \times 10^{-05}$	6,53	$3,03 \times 10^{-09}***$	
S	Intercepto	1,31	$2,59 \times 10^{-02}$	50,72	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-19,13
	G	$7,09 \times 10^{-05}$	$1,25 \times 10^{-05}$	5,67	$1,48 \times 10^{-07}***$	
Cu	Intercepto	7,61	$1,42 \times 10^{-01}$	53,74	$<2,00 \times 10^{-16}***$	2,15
	G	$-1,79 \times 10^{-04}$	$6,87 \times 10^{-05}$	-2,61	$1,06 \times 10^{-02}^*$	
B	Intercepto	1,04	$4,94 \times 10^{-01}$	2,11	$3,78 \times 10^{-02}^*$	2,89
	G	$1,74 \times 10^{-03}$	$5,58 \times 10^{-04}$	3,13	$2,35 \times 10^{-03}^{**}$	
	K	$-3,58 \times 10^{-03}$	$1,69 \times 10^{-03}$	-2,11	$3,71 \times 10^{-02}^*$	
	G ²	$-4,40 \times 10^{-07}$	$1,30 \times 10^{-07}$	-3,38	$1,06 \times 10^{-03}^{**}$	
Fe	Intercepto	$8,34 \times 10^{+01}$	3,86	21,63	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-34,98
	G	$1,35 \times 10^{-02}$	$1,87 \times 10^{-03}$	7,21	$1,21 \times 10^{-09}***$	
Zn	Intercepto	$2,83 \times 10^{+01}$	$4,67 \times 10^{-01}$	60,59	$<2,00 \times 10^{-16}***$	-2,27
	G	$7,82 \times 10^{-04}$	$2,26 \times 10^{-04}$	3,45	$8,31 \times 10^{-04}***$	

“*” significativo a 5 %; “**” significativo a 1 % e; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O

Mateus et al. (2011) ao avaliarem os efeitos da adubação nitrogenada e do sistema de plantio direto na cultura de sorgo, verificaram concentração foliar de N em 27,8 g kg⁻¹, o que corresponde a um teor 21,29% menor em comparação ao do presente trabalho.

O aumento de N foliar na cultura do sorgo, pode estar relacionando a maior distribuição do sistema radicular da cultura nas camadas superficiais e subsuperficiais, o que contribuiu para maior absorção de N pelas plantas, mesmo efeito observado por Caires et al. (2004) em experimento com milho e doses de gesso. Ainda, segundo Epstein e Bloom (2006), o aumento no teor foliar de N verificado com a aplicação de gesso agrícola, está relacionado à maior disponibilidade de S para as plantas, visto que, a absorção desses nutrientes pela planta é sinérgica, ou seja, a deficiência de um destes inibe a absorção do outro. Nas Figuras 4.68 e 4.71, nota-se que os teores de N e S elevaram-se proporcionalmente ao aumento das doses de gesso, o que possibilitou a maior absorção dos mesmos pelas plantas.

O teor foliar de fósforo não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.21), verificando-se teor foliar médio de 3,04 g kg⁻¹ para esse nutriente. Para Bataglia et al. (1983), são considerados adequados para a cultura do sorgo teores foliares de fósforo entre 2,0 a 4,0 g kg⁻¹, estando o teor de fósforo foliar verificado no presente estudo, dentro da faixa considerada adequada para a cultura do sorgo.

Para o teor de potássio na folha diagnóstica do sorgo para silagem, observou-se apenas efeito quadrático da aplicação do gesso (Tabelas 4.21 e 4.22), cujos teores reduziram com aplicação de até 2.597,53 kg ha⁻¹ desse resíduo (Figura 4.69). Bataglia et al. (1983) consideram como teores foliares de K adequados para a cultura de sorgo, valores entre 14,0 a 25,0 g kg⁻¹.

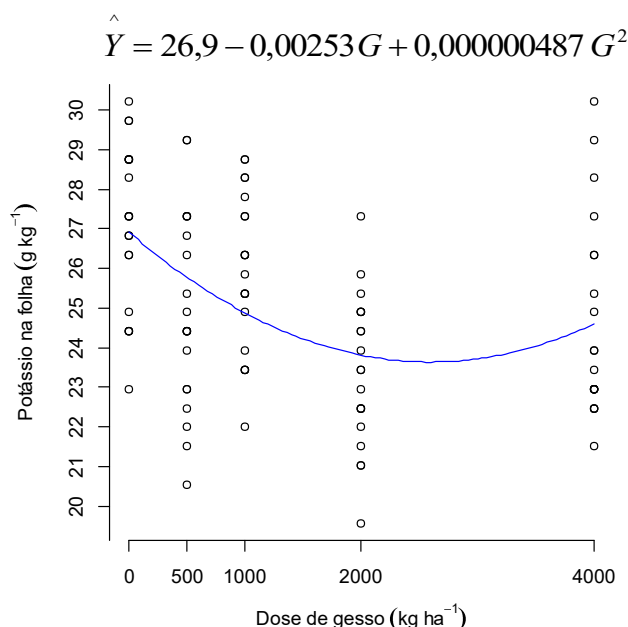


Figura 4.69. Teor foliar de potássio (K) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

Com aplicação de 2.597,53 kg ha⁻¹ de gesso, verificou-se o menor teor foliar de K (23,63 g kg⁻¹), teor 93,68 % maior que o relatado no trabalho de Crusciol et al. (2011) que ao avaliarem a produtividade de híbridos de sorgo granífero cultivados com adubação mineral, estimaram o teor de 12,2 g kg⁻¹ de K foliar. Rocha (2013) ao avaliar o cultivo de sorgo sacarino em resposta à doses crescentes de gesso, verificou 12,19 g kg⁻¹ de K foliar com aplicação de 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, teor inferior ao do presente estudo. Costa (2011) ao avaliar o efeito residual do calcário e do gesso nas culturas de aveia-preta, soja e sorgo granífero, obteve 17,3 g kg⁻¹ de K foliar com aplicação de 2.100 kg ha⁻¹ de gesso.

A redução no teor foliar de K com aplicação do gesso foi relatada por Rocha (2013), em estudo experimental com doses elevadas de gesso no cultivo de sorgo, concordando com

os efeitos observados no presente estudo. Segundo esse autor, a redução no teor foliar de K após aplicação de gesso no solo, está relacionada ao excesso de íons Ca^{2+} em solução, provenientes da dissolução do gesso, o que eleva sua atividade iônica e, ao mesmo tempo, reduz a atividade do potássio e, conseqüentemente, sua menor absorção pelas plantas. É importante ressaltar ainda que, essa redução no teor de K em resposta ao gesso aplicado, pode ser atribuída à formação do par iônico K_2SO_4 , com posterior, lixiviação no perfil do solo, reduzindo a disponibilidade desse nutriente às plantas.

Em relação ao teor foliar de cálcio, verificou-se apenas efeitos significativos da aplicação de gesso (Tabelas 4.21 e 4.22), cujos teores elevaram-se com o aumento da aplicação desse resíduo, corroborando com os efeitos observados por Rocha (2013). Na Figura 4.70, verifica-se que a cada quilograma de gesso adicionado ao solo, houve incrementos de $0,000249 \text{ g kg}^{-1}$ na concentração desse nutriente na folha. Assim, o máximo teor foliar de cálcio verificado com a dose de 4.000 kg ha^{-1} de gesso foi de $3,15 \text{ g kg}^{-1}$, teor este, maior que o teor relatado por Rocha (2013), $2,69 \text{ g kg}^{-1}$ de Ca foliar, com aplicação de 4.000 kg ha^{-1} de gesso.

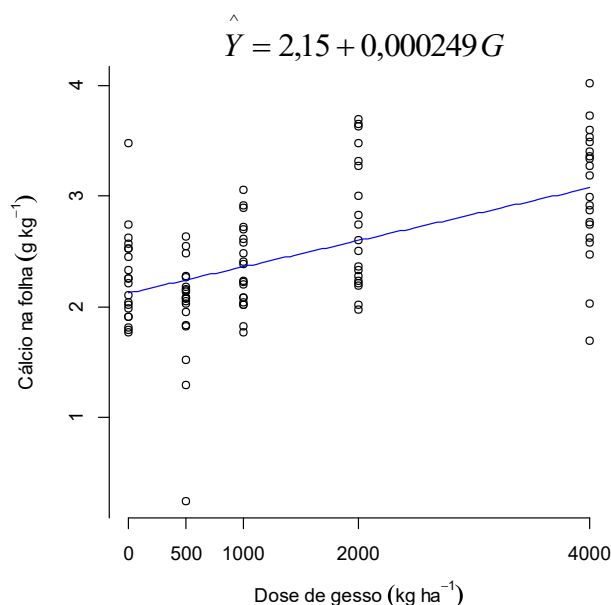


Figura 4.70. Teor foliar de cálcio (Ca) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

Contudo, Sousa et al. (2015) ao avaliarem o estado nutricional de dez híbridos de sorgo granífero com adubação mineral, obtiveram concentração de $2,26 \text{ g kg}^{-1}$ para o Ca foliar (folha+4/florescimento), teor 39,38% menor que o verificado no presente trabalho. Vale ressaltar, que o teor foliar de Ca observado no presente estudo, está dentro da faixa considerada adequada para a cultura ($2,5$ a $6,0 \text{ g kg}^{-1}$) de acordo com Bataglia et al. (1983). É

importante ressaltar ainda que, o aumento no teor de cálcio em profundidade (Figuras 4.49-A e 4.49-B) em resposta à aplicação de gesso, disponibilizou maior teor desse nutriente para absorção pelas plantas de sorgo, reforçando um dos benefícios da aplicação do gesso na agricultura, fornecer cálcio em profundidade.

Para o teor foliar de magnésio (Tabela 4.21), não foram observados efeitos significativos dos fatores avaliados nos teores desse nutriente, verificando-se teor foliar médio de $1,37 \text{ g kg}^{-1}$, estando esse teor, abaixo da faixa considerada adequada ($1,5$ a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$) para a cultura de sorgo, segundo Bataglia et al. (1983), o que pode ser atribuído a baixa disponibilidade de magnésio no solo (Figuras 4.50 e 4.51). Segundo Silva et al. (1997), teores adequados de Mg nas plantas de sorgo são benéficos ao seu desenvolvimento, pois, ele tem participação na clorofila e pode influenciar diretamente no processo fotossintético da planta.

O teor foliar de enxofre elevou-se linearmente (Figura 4.71) apenas em resposta à aplicação do gesso (Tabelas 4.21 e 4.22), corroborando com os trabalhos de Caires et al. (2001), Soratto & Crusciol (2008) e Rampim et al. (2011). O aumento no teor de S foliar, está relacionado ao aumento desse nutriente nas camadas do solo (Figuras 4.57-A e 4.57-B), visto que, o gesso utilizado no presente estudo possuía 15% de S em sua composição, o que proporcionou maior distribuição de enxofre pelo solo e, conseqüentemente, maior disponibilidade de absorção pelas plantas.

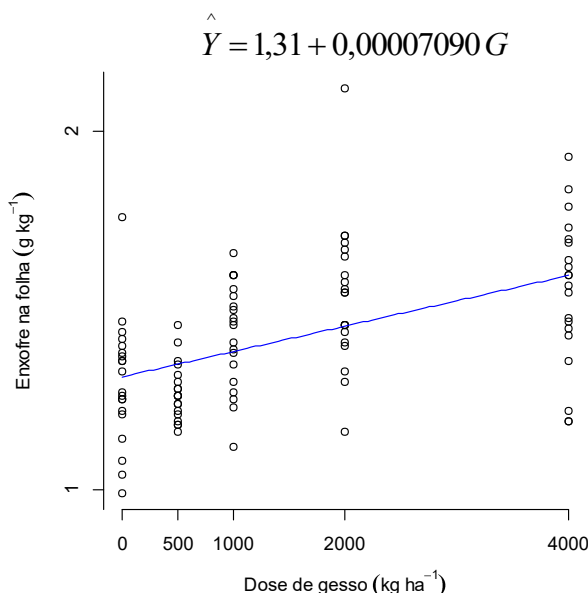


Figura 4.71. Teor foliar de enxofre (S) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

Na Figura 4.71, nota-se que incrementos de $0,00007090 \text{ g kg}^{-1}$ de enxofre foliar foram obtidos a cada quilograma de gesso aplicado ao solo, verificando-se com a dose de

4.000 kg ha⁻¹ de gesso o teor máximo de 1,59 g kg⁻¹ de S foliar. Em relação as exigências nutricionais das plantas de sorgo com absorção de enxofre, o teor obtido no presente trabalho está dentro da faixa considerada adequada (1,5 a 3,0 g kg⁻¹) para a cultura do sorgo, conforme descreve Bataglia et al. (1983).

Em comparação a outros trabalhos presentes na literatura, o teor máximo de enxofre foliar verificado no presente estudo é 218% maior que o relato por Crusciol et al. (2011), que ao avaliarem a produtividade de híbridos de sorgo granífero em resposta à adubação mineral, verificaram 0,5 g kg⁻¹ para o teor foliar de enxofre. Sousa et al. (2015) avaliando dez híbridos de sorgo granífero no estado de São Paulo, obtiveram teor médio de 1,48 g kg⁻¹ de S foliar, aproximando-se da concentração verificada no presente trabalho.

Para os teores de boro na folha diagnóstica do sorgo, foi verificada interação significativa entre as doses de gesso e potássio (Tabelas 4.21 e 4.22) nos teores desse nutriente, cujas doses aplicadas, ajustaram-se à superfície de resposta apresentada na Figura 4.72. Pelo modelo ajustado, nota-se que houve redução de boro foliar com o aumento da aplicação das doses de potássio e, aumento no teor desse nutriente com a aplicação de até 1.977,27 kg ha⁻¹ de gesso, com posterior redução nos teores de boro, à medida em que se aumentou a concentração de gesso no solo.

$$\hat{Y} = 1,04 + 0,00174G - 0,00358K - 0,000000440 G^2$$

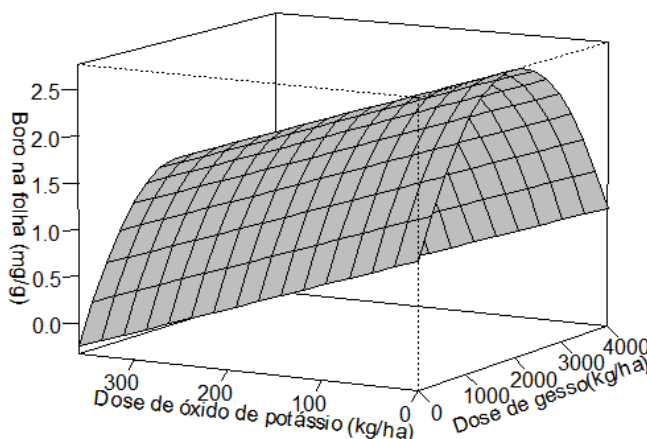


Figura 4.72. Teor foliar de boro (B) foliar em função de doses de gesso e potássio em cultivo de sorgo para silagem.

Com aplicação de 1.977,27 e 0 kg ha⁻¹ de gesso e K₂O, respectivamente, obteve-se o teor máximo de 2,76 mg kg⁻¹ de boro foliar, teor esse, considerado baixo quando comparado à necessidade nutricional da cultura, ou seja, teores de boro foliar entre 4,0 a 20,0 mg kg⁻¹ (BATAGLIA et al., 1983). O baixo teor foliar de boro verificado no presente estudo, pode estar relacionado à quantidade desse nutriente no solo, tendo em vista que, a aplicação de

gesso reduziu os teores desse nutriente na camada de 0-0,20 m do solo (Figura 4.58-A), o que reduziu a disponibilidade de absorção do mesmo pelas plantas

Para o teor foliar de cobre (Tabelas 4.21 e 4.22), foi observado apenas o efeito linear decrescente em seus teores, em função do aumento das doses de gesso (Figura 4.73). Essa redução no teor de cobre foliar, pode estar associada à formação de complexos estáveis entre os íons Cu^{2+} e SO_4^{2-} (CuSO_4^0), diminuindo a atividade desse cátion metálico no solo e, consequentemente, menor absorção pelas plantas, como também, à percolação de cobre verificada nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo (Figuas 4.59 e 4.60).

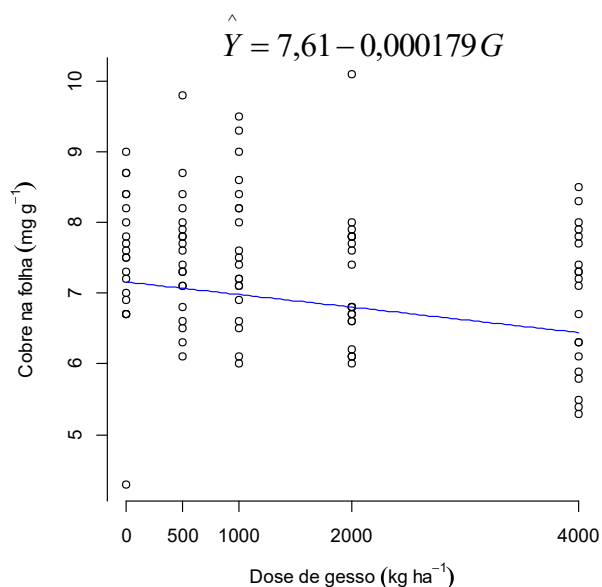


Figura 4.73. Teor foliar de cobre (Cu) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

Com aplicação das doses 0 e 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, foram verificados os teores de 7,61 e 6,89 mg kg⁻¹ de Cu foliar, respectivamente (Figura 4.73). Para Bataglia et al. (1983), são considerados adequados para a cultura do sorgo, teores foliares de cobre entre 5,0 e 20,0 mg kg⁻¹, estando os teores verificados no presente estudo, dentro da faixa considerada adequada às necessidades nutricionais da cultura.

Os teores foliares de cobre verificados no presente estudo, são superiores quando comparados ao teor relatado por Leão et al. (2011), que ao avaliarem os efeitos de plantas de sorgo submetidas ao estresse hídrico, obtiveram 2,36 mg kg⁻¹ de cobre foliar para a planta sem estresse hídrico. Contudo, o teor obtido no presente estudo é inferior aos relatados por Sousa et al. (2015), 12,2 mg kg⁻¹ de Cu foliar e; Crusciol et al. (2011), 16,7 mg kg⁻¹.

Com relação ao teor foliar de ferro (Tabelas 4.21 e 4.22), doses crescentes de gesso resultaram no máximo teor foliar de ferro (137,77 mg kg⁻¹) na folha diagnóstica do sorgo para

silagem (Figura 4.74), teor esse, acima do considerado adequado (65 a 100 mg kg⁻¹) para a cultura de sorgo (BATAGLIA et al., 1983).

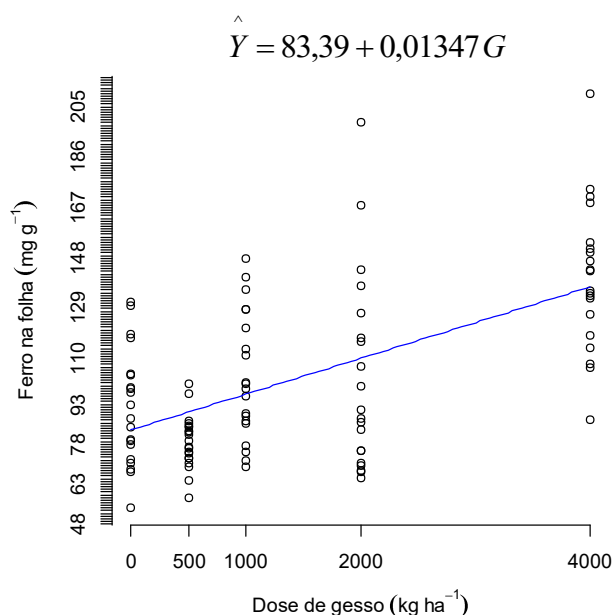


Figura 4.74. Teor foliar de ferro (Fe) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

O teor foliar de manganês não foi influenciado significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.21), verificando-se o teor médio de 49,31 mg kg⁻¹ de Mn foliar. Para Bataglia et al. (1983), são considerados adequados para a cultura do sorgo teores foliares de manganês entre 10 a 190 mg kg⁻¹, estando o teor de Mn verificado no presente estudo, dentro da faixa considerada adequada para a cultura.

Para o teor foliar de Zn (Figura 4.75), verificou-se o aumento linear de sua concentração em função da aplicação de até 4.000 kg ha⁻¹ de gesso (Tabelas 4.21 e 4.22), o que resultou no teor máximo de 31,42 mg kg⁻¹ de Zn foliar. Crusciol et al. (2011) trabalhando com híbridos de sorgo granífero consorciados com capim-marandu cultivados com adubação mineral, relataram teor médio de 32,2 mg kg⁻¹ de Zn foliar.

Segundo Malavolta et al. (1991), em gramíneas como sorgo e milho, por exemplo, o zinco participa da composição de várias enzimas, atua no metabolismo de carboidratos, proteínas e fosfatos, na formação estrutural das auxinas, RNA e ribossomos, além de participar do metabolismo fenólico, no aumento e multiplicação celular e na fertilidade dos grãos de pólen.

Segundo Bataglia et al. (1983), a concentração foliar adequada de Zn para a cultura do sorgo deve apresentar teores entre 15 e 50 mg kg⁻¹, estando a concentração de Zn foliar determinada no presente trabalho dentro da faixa adequada para a cultura.

Vale ressaltar ainda que, o aumento no teor foliar de Zn, pode estar relacionado à percolação desse nutriente na camada de 0-0,20 m (Figura 4.63-A) do solo pela ação do gesso, o que ocasionou maior distribuição do mesmo na camada de 0,20-0,40 m (Figura 4.63-B), o que possibilitou maior absorção de Zn pelo sistema radicular as plantas de sorgo.

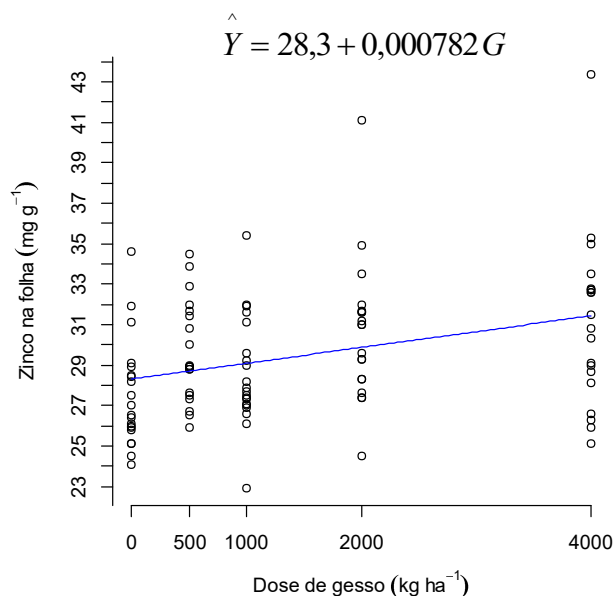


Figura 4.75. Teor foliar de zinco (Zn) em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

Para as características biométricas e produtivas das plantas de sorgo avaliadas no ponto de colheita para silagem, foram verificados efeitos significativos apenas da aplicação do gesso para as variáveis altura da planta (AP) e diâmetro do caule, cuja análise de variância e os modelos ajustados e selecionados para essas variáveis são apresentados nas Tabelas 4.23 e 4.24, respectivamente.

A altura da planta (AP) foi influenciada linearmente pela aplicação do gesso, sendo verificada redução linear nessa característica (Tabelas 4.23 e 4.24), com aumento da aplicação do gesso. Com as doses 0 e 4.000 kg ha⁻¹ de gesso, respectivamente, foram obtidas plantas com 136,8 e 129,24 cm de altura (Figura 4.76).

Queiroz (2005) ao avaliar a resposta do sorgo granífero híbrido DAS 741 em função da aplicação da adubação fosfatada com ou sem a presença de gesso, estimou 83,82 cm para a altura da planta após a aplicação de 1.320 kg ha⁻¹ de gesso, altura inferior às verificadas no presente estudo. Silva et al. (2009) ao avaliarem o desempenho de cultivares de sorgo granífero no estado de Goiás em resposta a adubação mineral, verificaram 114 cm para AP.

Tabela 4.23. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas do sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.

G (kg ha ⁻¹)	MFP	MFPN	AP	DC	PBF
	-----g-----		----- cm -----	----- mm -----	----- kg ha ⁻¹ -----
0	162,69	50,10	136,81	15,01	19.523,07
500	163,54	50,32	137,71	14,31	19.624,55
1000	157,52	50,18	133,99	13,98	18.902,33
2000	149,80	47,49	127,02	14,34	17.975,54
4000	155,62	50,05	130,16	13,92	18.674,83
K (kg ha ⁻¹)					
0	160,70	50,84	135,62	15,01	19.283,41
100	158,32	49,74	131,80	13,75	18.998,90
180	155,24	48,27	131,21	14,33	18.629,33
240	157,45	49,75	133,11	14,44	18.893,72
360	157,46	49,53	133,94	14,04	18.894,95
Média	157,83	49,63	133,13	14,31	18.940,06
F _G	1,73 ^{ns}	0,70 ^{ns}	3,26 ^{***}	3,23 ^{***}	1,74 ^{ns}
F _K	0,21 ^{ns}	0,41 ^{ns}	1,25 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,21 ^{ns}
F _{GxK}	1,48 ^{ns}	1,70 ^{ns}	1,24 ^{ns}	2,22 ^{ns}	1,48 ^{ns}
C.V.%	12,06	12,89	6,61	6,54	12,06

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste F, C.V. = coeficiente de variação; MFP = massa fresca da planta; MP = massa da panícula; AP = altura da planta; DC = diâmetro do caule; PBF = produtividade de biomassa fresca

Tabela 4.24. Modelos ajustados e selecionados pelo teste t e critério de informação bayesiano (BIC) para as características altura da planta (AP) e diâmetro do caule (DC) em cultivo de sorgo para silagem em função de doses de gesso e potássio.

Característica		Estimativas	Erro-padrão	t	p-valor	BIC
AP	Intercepto	$1,36 \times 10^{+02}$	1,37	99,48	$<2,0 \times 10^{-16***}$	1,19
	G	$-1,89 \times 10^{-03}$	$6,66 \times 10^{-04}$	-2,85	$5,38 \times 10^{-03**}$	
DC	Intercepto	$1,43 \times 10^{+01}$	$1,70 \times 10^{-01}$	83,17	$<2,0 \times 10^{-16***}$	3,20
	G	$-2,03 \times 10^{-04}$	$8,28 \times 10^{-05}$	-2,45	$1,59 \times 10^{-02*}$	

“*” significativo a 5 %; “**” significativo a 1 % e; “***” significativo a 0,01 % de probabilidade pelo teste t; BIC = critério de informação bayesiano; G = doses de gesso; K = doses de K₂O.

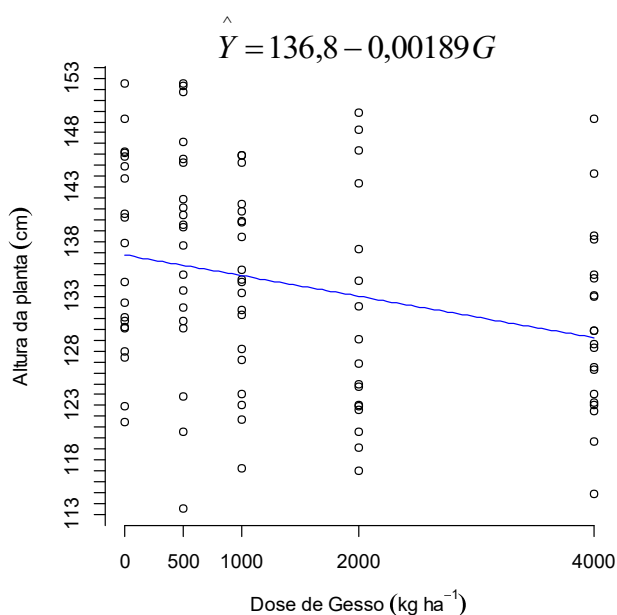


Figura 4.76. Altura da planta (AP) de sorgo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

Para o diâmetro do caule (DC) foi observado apenas efeitos significativos do gesso, cuja característica reduziu linearmente com o aumento da aplicação desse resíduo (Tabelas 4.23 e 4.24), mostrando comportamento similar ao que foi observado para a característica altura da planta (AP), em resposta à gessagem (Figura 4.76). A cada quilograma de gesso aplicado ao solo, verificou-se decréscimos de 0,000203 mm no diâmetro do caule do sorgo, o que resultou no diâmetro mínimo de 13,49 mm (Figura 4.77). Contudo, esse diâmetro é 61% maior que o relatado por Crusciol et al. (2011), que verificaram plantas com 9,0 mm de DC em cultivo de sorgo com adubação mineral. Esses autores ressaltam que plantas que apresentam caules mais finos, possuem menor capacidade de translocação de água e nutrientes e, são mais suscetíveis ao acamamento, o que não foi verificado no presente estudo.

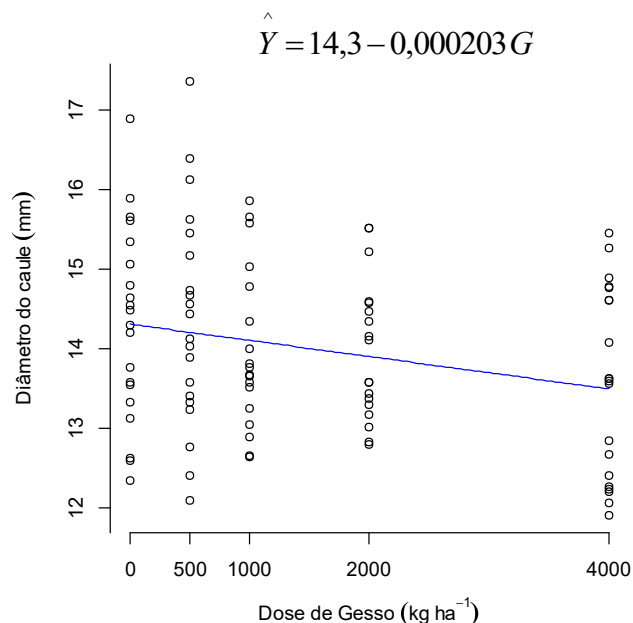


Figura 4.77. Diâmetro do caule (DC) da planta de sorgo em função de doses de gesso em cultivo de sorgo para silagem.

É importante ressaltar ainda que, embora tenha ocorrido redução nas medidas da AP e DC com elevação das doses de gesso, os resultados verificados para essas variáveis são satisfatórios para a cultura do sorgo, tendo em vista que, plantas com essas características, são menos propícias ao acamamento ocasionado pelos ventos, favorecendo assim, o rendimento da colheita.

A aplicação das doses de gesso e potássio não influenciaram os valores das características massa fresca da planta e massa fresca da panícula (Tabela 4.23), verificando-se valores médios de 157,83 e 49,63 gramas , respectivamente. A produtividade de biomassa fresca de sorgo não foi influenciada pela aplicação das doses de gesso e K₂O (Tabela 4.23), verificando-se produtividade média de 18.940,06 kg ha⁻¹. Mello et al. (2004) em estudo conduzido em Argissolo Vermelho distrófico arênico, observaram que a adubação mineral de plantio não influenciou na produtividade de matéria verde, verificando-se produtividade média de 15.210,00 kg ha⁻¹ para a cultivar de sorgo Âmbur.

Os resultados da análise de variância para as variáveis massa média da panícula no ponto de colheita de grãos (MMPPCG), massa de grãos por planta (MGPP) e produtividade de grãos (PG) em resposta à aplicação das doses de gesso e potássio, são apresentados na Tabela 4.25. Para a característica MMPPCG não foram observados efeitos significativos da aplicação das doses de gesso e potássio nos valores dessa variável (Tabela 4.25), verificando-se o valor médio de 29,57 gramas.

Tabela 4.25. Resumo da análise de variância para as características biométricas e produtivas do sorgo em grãos em função de doses de gesso e potássio.

G (kg ha ⁻¹)	MMPPCG ----- g -----	MGPP	PG ----- kg ha ⁻¹ -----
0	28,84	21,38	2.565,61
500	28,98	20,32	2.438,43
1000	29,14	21,03	2.523,94
2000	30,25	21,58	2.589,37
4000	30,65	20,87	2.446,43
K (kg ha ⁻¹)			
0	30,50	22,01	2.641,20
100	29,20	20,10	2.411,82
180	28,85	20,40	2.448,45
240	28,64	20,55	2.405,30
360	30,66	22,14	2.657,02
Média	29,57	21,04	2.512,76
F _G	0,85 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,59 ^{ns}
F _K	1,12 ^{ns}	2,02 ^{ns}	2,01 ^{ns}
F _{GxK}	1,28 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,83 ^{ns}
C.V.%	13,46	15,75	15,75

G = doses de gesso; K = doses de K₂O; ns = não significativo pelo teste F; C.V. = coeficiente de variação; MMPPCG = massa média da panicula no ponto de colheita de grãos; MGPP = massa de grãos por planta; PG = produtividade de grãos

A massa de grãos por planta (MGPP) não foi influenciada significativamente pela aplicação dos fatores avaliados (Tabela 4.25), verificando-se massa média de 21,04 gramas para MGPP, massa essa, superior à relatada por Crusciol et al. (2011), que ao avaliarem a produtividade de híbridos de sorgo granífero em sistema de plantio direto com adubação mineral, verificaram valores entre 14,5 e 17,4 gramas para a massa de grãos por panículas.

A produtividade de grãos de sorgo não foi influenciada significativamente pela aplicação das doses de gesso e potássio (Tabela 4.25), verificando-se produtividade média de 2.512,76 kg ha⁻¹, produtividade essa, inferior à do Estado de Minas Gerais na safra 2014/2015, 3.700 kg ha⁻¹ (CONAB, 2016). Contudo, a produtividade média de grãos de sorgo no presente estudo, é superior à produtividade nacional na safra 2014/2015 que foi de 2.055,30 kg ha⁻¹ de grãos de sorgo (CONAB, 2016).

4.4 Análise do teor de metais pesados em amostra de gesso agrícola

A análise dos metais pesados Ni, Cd, Cr e Pb, realizada na caracterização química do gesso agrícola utilizado no presente estudo, bem como os valores de referência para comparação de contaminantes em condicionadores de solo (MAPA, 2007), são apresentados na Tabela 4.26, por meio da qual, verifica-se que as concentrações dos metais quantificados no gesso agrícola, encontram-se em quantidades inferiores aos limites máximos estabelecidos pela Instrução Normativa nº 27, de 5 de junho de 2006 (MAPA, 2007), indicando, favorável utilização desse resíduo na agricultura. Contudo, é importante ressaltar que, o teor de metais pesados no gesso agrícola pode variar de acordo com a composição da rocha fosfatada utilizada durante a produção do ácido fosfórico (RUFO, 2009).

Tabela 4.26. Concentração de metais pesados níquel, cromo, cádmio e chumbo presentes no gesso agrícola, com respectivos limites aceitáveis para comparação.

Metais pesados	Amostra (%)	Limite máximo aceitável (mg kg ⁻¹)
Níquel (Ni)	0	175
Cromo (Cr)	0	500
Cádmio (Cd)	0,004	8
Chumbo (Pb)	0	300

Silva (2009) ao avaliar a utilização do gesso agrícola no cultivo de milho e soja em casa de vegetação e a contaminação do solo, planta e água de drenagem pela aplicação desse resíduo, verificou na caracterização química de duas amostras de gesso agrícola provenientes da região de Tapira (MG) e Catalão (GO) por espectrometria de emissão óptica com indução

de plasma (ICP-OES), teores de 15,7; 0; 0,93; e, 14,67 mg kg⁻¹ de Ni, Cr, Cd e Pb, respectivamente, na amostra de gesso da região de Tapira e, 13,48; 1,56; 0,75; e, 16,17 mg kg⁻¹ de Ni, Cr, Cd e Pb, respectivamente, na amostra de gesso da região de Catalão, teores esses, superiores aos verificados no presente trabalho, mas dentro da faixa permitida pelos órgãos reguladores.

Bourlegat (2010) determinando a concentração de metais pesados em amostras de gesso agrícola, provenientes das regiões de Uberaba (MG) e Catalão (GO) seguindo a metodologia descrita pelo MAPA (2007), verificou teores abaixo de 1,5 mg kg⁻¹ de Cd para as amostras de ambas as regiões; 9,4 e 11,2 mg kg⁻¹ de níquel; 14,0 e 19,4 mg kg⁻¹ de chumbo; 37,0 e 56,0 mg kg⁻¹ de cromo; respectivamente, para as amostras de Uberaba e Catalão. Ainda, segundo a autora, os teores de metais pesados foram correlacionados com a rocha de origem, verificando-se que a amostra de gesso de Catalão possuía maior teor desses metais em comparação à de Uberaba, corroborando com Rufo (2009), quanto à variação dos teores desses metais, em função da origem da rocha fosfatada. Bourlegat (2010), afirma ainda que, grande parte desses metais não são disponibilizados para o meio ambiente durante a utilização desse resíduo, pois, estão ligados aos silicatos.

Cota et al. (2012) avaliando os impactos ambientais causados pelo uso do fosfogesso como material de cobertura em aterros sanitários, verificou teores inferiores a 0,1 e 20,0 mg kg⁻¹ para o cádmio e chumbo, respectivamente, e 38,2 mg kg⁻¹ para o cromo em amostras de gesso agrícola provenientes do município de Uberaba-MG, cuja rocha fosfatada, utilizada na produção de ácido fosfórico é oriunda de Tapira-MG.

É importante ressaltar que, embora nos trabalhos de Silva (2009), Bourlegat (2010) e Cota et al. (2012) os teores de metais pesados nas amostras de gesso tenham sido superiores aos verificados no presente estudo, os autores citados, recomendam a utilização do resíduo, por se fundamentarem em estudos com modelagem matemática (COTA et al., 2012) ou estimativas quanto à acumulação desses metais em função da aplicação crescentes de doses de gesso (SILVA, 2009). Foi possível ainda, no presente estudo, classificar esse resíduo conforme orientações da Norma ABNT NBR 10.004:2010, em resíduo de classe IIA, ou seja, não perigoso e não inerte.

Destaca-se ainda, diante dos resultados obtidos, a viabilidade do uso deste resíduo como condicionador de solo.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

A aplicação de gesso agrícola promoveu incrementos significativos nos teores de cálcio e enxofre nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo em todas as culturas avaliadas, confirmando um dos benefícios da aplicação desse resíduo em fornecer cálcio e enxofre em profundidade, o que possibilitou, o aumento nos teores foliares de Ca e S nas culturas do milho e sorgo.

Os valores de pH (CaCl_2) nas culturas da couve-flor, milho e sorgo foram influenciados pelo aumento da aplicação de K_2O .

Os valores da acidez potencial e alumínio nas camadas de 0-0,20 e 0,20-0,40 m do solo, respectivamente, reduziram com aplicação do gesso após o cultivo de milho em grãos.

As produtividades de milho e sorgo não responderam de maneira significativa à aplicação de gesso ou potássio.

A altura da planta e o diâmetro do caule no cultivo de sorgo reduziram linearmente com o aumento da aplicação do gesso. Contudo, houve interações significativas entre os fatores avaliados para as características diâmetro do pedúnculo e altura da cabeça na cultura da couve-flor, como também, para o teor de sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) no cultivo de milho, nas quais, verificou-se aumento proporcional em suas medidas com a aplicação do gesso.

A aplicação de gesso nas culturas da couve-flor, milho e sorgo mostrou-se uma alternativa viável para o reaproveitamento desse resíduo quanto ao fornecimento de cálcio e enxofre em profundidade, considerando-se que o gesso adicionado ao solo não apresentou traços de metais pesados acima do nível estabelecido pelo MAPA.

CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, J. M.; GARCÍA-TENORIO, R.; ENAMORADO, S. M.; HURTADO, M. D.; ANDREU, L.; DELGADO, A. **The cumulative effect of three decades of phosphogypsum amendments in reclaimed marsh soils from SW Spain: (226) Ra, (238) U and Cd contents in soils and tomato fruit.** Science of The Total Environment, v.403, n.1-3, p.80-88. 2008. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18602676>>. Acessado em: 14 jan 2016.

AGROCERES. **Informações agronômicas: cultivares “AG 1051” e “Volumax”.** Agrocere. 2016. Disponível em: < <http://www.sementesagrocere.com.br>>. Acessado em: 14 mai 2016.

ALBUQUERQUE, C. J. B.; PINHO, R. G. V.; BRANT, R. S.; MENDES, M. C.; REZENDE, P. M. **Composição da matéria seca do sorgo forrageiro em diferentes arranjos de plantas no Semiárido de Minas Gerais.** Pesquisa Aplicada e Agrotecnologia, v. 2, n. 2. 2009. Disponível em: < <http://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/545>>. Acessado em: 14 mar 2016.

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas por J. C. Alcarde.** Boletim Técnico 6, São Paulo, ANDA, 24 p. 2005.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NETO, M. M. G.; VIANA, J. H. **Solos: manejo do solo para cultivo do sorgo. Cultivo do Sorgo.** Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção 2, 4º edição. Embrapa. 2008.

ALVAREZ, J. W. R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2004. Disponível em: < <http://w3.ufsm.br/ppgcs/images/Dissertacoes/JIMMY-ALVAREZ.pdf>>. Acessado em: 24 abr 2016.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAES, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. **Interpretação dos resultados das análises de solos.** In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p. 25-32. 1999.

ALVES, E. M. **Produção de milho-verde e grãos consorciados com leguminosas em sistemas de plantio direto orgânico.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2014. Disponível em: < http://www.posagroecologia.ufv.br/wp-content/uploads/2012/02/Disserta%C3%A7%C3%A3o_Estenio-Moreira-Alves.pdf>. Acessado em 14 abr 2016.

ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes.** ANDA, São Paulo. 2014.

AMSTALDEN, A. C. **A produção e comercialização do milho: A influência do custo logístico.** Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2013. Disponível em: < <http://esalqlog.esalq.usp.br/a-producao-e-comercializacao-do-milho-a-influencia-do-custo-logistico-amstalden-a-c/>>. Acessado em: 14 dez 2015.

ARAÚJO, A. P. B.; FERNANDES, A. L. T. **O passivo ambiental do fosfogesso gerado nas indústrias de Fertilizantes fosfatados e as possibilidades de aproveitamento.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.16; p. 2952. 2013. Disponível em: < <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/multidisciplinar/o%20passivo%20ambiental.pdf>>. Acessado em: 12 dez 2015.

ARAÚJO, B. L.; ARNHOLD, E.; JÚNIOR, E. A. O.; LIMA, C. F. **Parâmetros genéticos em cultivares de sorgo granífero avaliados em safrinha.** Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas, p.51-59, v.8, n.02. 2014. Disponível em: < www.periodicoseletronicos.ufma.br/index.php/ccatropica/article/download/.../1083>. Acessado em: 25 mar 2016.

ARAÚJO, L. G. **Uso do gesso e sua influência na produção de cana-de-açúcar, atributos químicos e estoque de carbono no solo de cerrado.** Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília. 2015. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/17872>>. Acessado em: 14 abr 2016.

ARAÚJO, H. S.; QUADROS, B. R.; CARDOSO, A. I. I.; CORRÊA, C. V. **Doses de potássio em cobertura na cultura da abóbora.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 42, n. 4, p. 469-475, out./dez. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pat/v42n4/v42n4a04.pdf>>. Acessado em: 12 abr 2016.

ARF, O.; FERNANDES, R. N.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. **Manejo do solo e época de aplicação de nitrogênio no desenvolvimento e rendimento do milho.** Acta Scientiarum Agronomy. Maringá, v. 29, n. 2, p. 211-217, 2007. Disponível em: < <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/254>>. Acessado em: 14 abr 2016.

ARF, O.; GITTI, D. C.; ARF, M. V.; RODRIGUES, R. A.; SÁ, M. E.; BUZETTIL, S. **Época de semeadura da crotalaria juncea e crotalaria spectabilis intercaladas nas entrelinhas da cultura do milho em sistema plantio direto.** XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012. Disponível em: < http://www.abms.org.br/29cn_milho/07472.pdf>. Acessado em: 14 abr 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA QUÍMICA – ABIQUIM. Anuário da Indústria Química Brasileira. Indústria Química. **Estatística.** Brasil. Associação Brasileira da Indústria Química, São Paulo, ano 41, p. 224. 2014.

AVALHÃES, C. C.; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M. **Avaliação do estado nutricional de plantas de couve-flor cultivadas em solução nutritiva suprimidas de macronutrientes.** Nucleus, v.6, n.1, abr. 2009. Disponível em: < <http://www.nucleus.feituverava.com.br/index.php/nucleus/article/view/162>>. Acessado em: 14 jan 2016.

AVELINO, P. M. **Características produtivas e qualitativas de híbridos de sorgo para produção de silagem, cultivados sob diferentes densidades de plantio.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Tocantins, Araguaína. 2008.

AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JUNIOR, A. C. **Disponibilidade de fósforo para o arroz inundado sob efeito residual de calcário, gesso e esterco de curral aplicados na cultura do feijão.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:995-1004, 2004. Disponível: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832004000600008&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acessado em: 04 jan 2016.

BARROS, J. F. C.; CALADO, J. G. **A cultura do milho.** Universidade de Évora. Évora. 2014.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas.** Campinas: Instituto Agrônomo, 48p. 1983. (Boletim Técnico, 78).

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER A. G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. **Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira., Brasília, v.41, n.2, p.243-249, fev. 2006. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/118443/1/Deficithidrico.pdf>>. Acessado em: 18 mar 2016.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H. **Ecofisiologia do milho.** In: Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Florianópolis. 2002. Anais. Florianópolis, SC: ABMS/EMBRAPA/EPAGRI, 2002. 1 CD-ROM.

BERNARDI, A. C. C.; JÚNIOR, J. P. O.; LEANDRO, W. M.; MESQUITA, T. G. S.; FREITAS, P. L.; CARVALHO, M. C. S. **Doses e formas de aplicação da adubação potássica na rotação soja, milho e algodão em sistema plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 39, n. 2, p. 158-167, abr./jun. 2009. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPPSE009/18355/1/PROCIACCB2009.00014.pdf>>. Acessado em: 14 dez 2015.

BRUNETTO, G.; GATIBONI, L. C.; SANTOS, D. R.; SAGGIN, A.; KAMINSKI, J. **Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um argissolo sob sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 561-571. 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000400009>. Acessado em: 14 abr 2016.

BLUM, A. **Crop responses to drought and the interpretation of adaptation.** In: BELHASSEN, E. (Ed.). Drought tolerance in higher plants. Genetical, physiological and molecular biological analysis. Dordrecht: Kluwer Academic, p.57-70. 1997.

BLUM, J. **Alterações químicas do solo e resposta da videira ‘Niagara Rosada’ à aplicação de gesso agrícola.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2008. Disponível em: < http://www.bicentede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=155>. Acessado em: 14 jan 2016.

BORKERT, C. M.; PAVAN, M. A.; LANTMANN, A. F. **Considerações sobre o uso de gesso na agricultura.** Embrapa, comunicado técnico n 40, p.1-5. 1987.

BOURLEGAT, F. M. L. **Disponibilidade de metais em amostras de fosfogesso e fertilizantes fosfatados na agricultura.** Dissertação de mestrado. IPEN. Universidade de São Paulo. 2010. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-10082011-093830/en.php>>. Acessado em: 14 nov 2015.

CAIRES, E. F.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. **Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22:27-34. 1998. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n1/04.pdf>>. Acessado em: 14 abr 2016.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. **Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 315-327. 1999. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v23n2/16.pdf>>. Acessado em: 10 mar 2016.

CAIRES, E. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. **Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso.** Bragantia, v.60, p.213-223. 2001. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052001000300009>. Acessado em: 14 mar 2016.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; KUSMAN, M. T. **Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto.** Viçosa, Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 27 no 2. 2003. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000200008>. Acessado em: 17 mai 2016.

CAIRES, E. F.; KUSMAN, M. T.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; PADILHA, J. M. **Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:125-136. 2004. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a13v28n1>. Acessado em: 03 jan 2016.

CAIRES, E. F.; GARBUIO, F. J.; ALLEONI, L. R. F.; CAMBRI, M. A. **Calagem superficial e cobertura de aveia preta antecedendo os cultivos de milho e soja em sistema plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30:87-98. 2006. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-068320060001000&lng=en>. Acessado em: 19 mai 2016.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W.; CHURKA, S. **Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil.** Soil and Use Management, Oxford, v. 27, p. 45-53. 2011. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2010.00310.x/full>>. Acessado em 24 mar 2016.

CAKMAK, I. **Funções do K na formação da colheita**. Palestra proferida no Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira, São Pedro, SP: Associação Brasileira Para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato – POTAFOS, 22 – 24 set. 2004.

CAMARGO M. S.; MELLO S. C.; FOLTRÁN D. E.; CARMELLO, Q. A. C. **Produtividade e podridão parda em couve-flor de inverno influenciadas pelo nitrogênio e boro**. Bragantia, 67: 371-375. 2006. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-870520080>. Acessado em: 14 dez 2015.

CAMARGO, M. S.; MELLO, S. C.; FOLTRAN, D. E.; CARMELLO, Q. A. C. **Produtividade e podridão parda em couve-flor 'Sharon' influenciadas pela aplicação de nitrogênio e boro**. Horticultura Brasileira, vol.27, n. 1, Brasília. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362009000100006>. Acessado em: 24 jan 2016.

CAMPBELL, C. G.; GARRIDO, F.; ILLERA, V.; GARCÍA-GONZÁLEZ, M. T. **Transport of Cd, Cu and Pb in an acid soil amended with phosphogypsum, sugar foam and phosphoric rock**. Applied Geochemistry, v.21, n.6, p.1030-1043. 2006. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292706000886>>. Acessado em 23 out 2015.

CANADIAN POTASH PRODUCERS. Natural Resources, Canada. 2001.

CANUT, M. M. **Caracterização físico-química do resíduo fosfogesso**. Departamento de Materiais e construção. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p.01-17. 2005.

CARVALHO, M. C. S.; RAIJ, B. V. **Calcium sulphate, phosphogypsum and calcium carbonate in the amelioration of acid subsoils for root growth**. Plant and Soil, v.192, p.37-48. 1997. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1023/A:1004285113189#page-1>>. Acessado em: 24 abr 2016.

CASTOLDI, R.; CHARLO, H. C. O.; VARGAS, P. F.; BRAZ, L. T. **Crescimento, acúmulo de nutrientes e produtividade da cultura da couve-flor**. Horticultura Brasileira, vol.27, n.4, pp. 438-446. 2009. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-0536200900>. Acessado em: 22 dez 2015.

CASTRO, A. M. C; RUPPENTHAL, V.; RANDO, E. M.; MARCHIONE, M. S.; GOMES, C. J. A. **Calcário e gesso no desenvolvimento do milho cultivado em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico**. Revista Cultivando o Saber. Cascável, v.6, n.1, p. 8-16, 2013. Disponível em: < http://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/5165ab796557e.pdf>. Acessado em: 04 jan 2016.

CEASAMINAS - Centrais de Abastecimento de Minas Gerais S.A. **Ofertas de produtos: Couve-flor**. 2014. Disponível em: http://200.198.51.69/detec/ofertas_medio_prd/ofertas_medio_prd.php>. Acessado em 14 out 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo, 232 p. 2001.

CEKINSKI, E.; CALMANOVICI, C. E.; BICHARA, J. M.; FABIANI, M.; GIULIETTI, M.; CASTRO, M. L. M. M.; SILVEIRA, P. B. M.; PRESSINOTTI, Q. S. H. C.; GUARDANI, R. **Tecnologia de produção de fertilizantes**. São Paulo: IPT, cap. 3, p. 35-130: Fertilizantes fosfatados. 1990.

CHAI, B. **Respostas da aplicação de diferentes doses de gesso agrícola na cultura do milho e atributos químicos do solo**. Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário UDC, Foz do Iguaçu. 2013. Disponível em: < <http://www.udc.edu.br>>. Acessado em: 24 abr 2016.

CHANG, W. F.; MANTELL, M. I. **Engineering properties and construction applications of phosphogypsum**. Florida Institute of Phosphate Research, FIPR, nº 01-068-070. 1990. Disponível em: < <http://www.fipr.state.fl.us/publication/engineering-properties-and-construction-applications-of-phosphogypsum/>>. Acessado em: 03 nov 2015.

CHAPMAN, C.; PETERS, R.; WOJAK, B. **Development of process to manufacture glass products from phospho-gypsum**. Florida Institute of Phosphate Research – FIPR, Publication 01-153-163. 1999.

CHAVES, M. M. **Effects of water deficits on carbon assimilation**. Journal of Experimental Botany 42: 1-16. 1991. <https://doi.org/10.1093/jxb/42.1.1>

COELHO, A. M. **Manejo da fertilidade do solo e adubação no milho de alta produtividade**. In: Estratégias de manejo para alta produtividade do milho. YAMADA, T.; ABDALLA, R. S. R. Informações agronômicas 113. Potafos. 2006.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação. Cultivo do Sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo. . Sistemas de produção 2, 4ª edição. Embrapa. 2008.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos. **Sorgo**. Companhia Nacional de Abastecimento, vol. 3, Safra 2015/2016, n. 8, Brasília. 2016.

COSTA, M. J.; JÚNIOR, E. J. R.; ROSA, Y. C. J.; SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. **Atributos químicos e físicos de um Latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem**. Acta Sci. Agron, Maringá, v. 29, supl., p. 701-708. 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/asagr/v29sspe/a17.pdf>>. Acessado em: 14 mar 2016.

COSTA, C. H. M. **Efeito residual da aplicação superficial de calcário e gesso nas culturas de soja, aveia-preta e sorgo granífero**. Dissertação de mestrado. UNESP, Botucatu. 2011. Disponível em: < <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0678.pdf>>. Acessado em: 19 abr 2016.

COTA, S. D. S.; JACOMINO, V. M. F.; TADDEI, M. H. T.; NASCIMENTO, M. R. **Modelagem numérica do impacto ambiental associado à aplicação de fosfogesso como**

cobertura de aterros sanitários. Abas-associação Brasileira de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte, p.27-42. 2012.

CRUSCIOL, C. A.; MATEUS, G. P.; PARIZ, C. M.; BORGHI, É.; COSTA, C.; SILVEIRA, J. P. F. **Nutrição e produtividade de híbridos de sorgo granífero de ciclos contrastantes consorciados com capim-marandu.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.46, n.10, p.1234-1240, out. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n10/46v10a16.pdf>. Acessado em: 07 abr 2016.

CRUSCIOL, C. A. C.; FOLTRAN, R.; ROSSATO, O. B.; MCCRAY, J. M.; ROSSETTO, R. **Effects of surface application of calcium magnesium silicate and gypsum on soil fertility and sugarcane yield.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000600019. Acessado em: 04 jan 2016.

CRUZ, S. C. S. **Doses de potássio no sistema integração lavoura-pecuária.** Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/99941>. Acessado em: 04 fev 2016.

CRUZ, D. L. S.; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M.; MELO, V. F.; MARTINS, S. A.; CARVALHO, K. S. **Métodos de aplicação de potássio na qualidade do milho verde em sucessão ao cultivo de melancia.** Revista Agro@mbiente On-line, v. 3, n. 2, p. 80-85. 2009. Disponível em: <http://revista.ufrr.br/index.php/agroambiente/article/viewFile/265/235>. Acessado em: 24 abr 2016.

CRUZ, J. C.; MELHORANÇA, A. L.; COELHO, A. M. **Cultivo do milho.** Sistemas de Produção 1, 6 edição. Embrapa Milho e Sorgo. 2010.

CRUZ, S. C. S.; MACHADO, C. G.; JÚNIOR, D. G. S.; CRUZ, S. J. S. **Potassium fertilization for corn grown under bread grass straw.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol.18, n. 6. Campina Grande. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662014000600006. Acessado em: 10 jan 2016.

CURI, N. **Mineralogia e formas de K no solo.** In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004.

DE MARIA, I. C.; ROSSETTO, R.; AMBROSANO, E. J.; CASTRO, O. M. **Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento de cátions em colunas de solo.** Scientia. Agrícola, n. 50, 87-98, 1993. Disponível em: www.revistas.usp.br/sa/article/download/20094/22211. Acessado em: 24 abr 2016.

DEMATTE, J. L. I. **Ação do Gesso e do Calcário na relação do Cálcio:Magnésio do solo e na produtividade da cana-de-açúcar.** Informações agrônômicas, n. 136. 2011.

DIAS, L. E. **Uso de gesso como insumo agrícola.** Seropédica, RJ: Comunicado técnico n. 7, CNPBS, 6 p. 1992. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/623368/1/cot007.pdf>. Acessado em: 10 jun 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Tecnologia de produção de soja**. Londrina, 281 p. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de segurança e qualidade para a cultura do milho**. Brasília: Embrapa/Sede, 78 p. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Hortalças, 2010 e 2011**. Brasília, EMBRAPA. 2010. Disponível em: <[http:// cnph.embrapa.br](http://cnph.embrapa.br)>. Acesso em: 18 out 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **O cultivo do milho**. Embrapa. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Ciência e tecnologia são responsáveis pelo aumento da produção de hortaliças**. EMBRAPA. 2012. Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acessado em 19 out 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 353p. 2013.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Editora Planta. 2006.

ERNANI, P. R.; BARBER. S. A. **Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido**. Revista Brasileira Ciência do Solo, 10:41-46. 1993.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. S.; BAYER, C. **Modificações químicas em solos ácidos ocasionadas pelo método de aplicação de corretivos da acidez e de gesso agrícola**. Scientia Agricola, 58:825-831, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000400026>

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Agropecuária Guaíba. 2000.

FARIA, M. V.; LANA, R. M. Q.; BORGES, E. N.; FERNANDES, E. B. **Movimentação de bases em Latossolo submetido a aplicação de gesso e ao sistema de manejo em plantio direto utilizando brachiária como cobertura de inverno, a partir do sexto ano**. Horizonte Científico, v.1, n.1. 2007. Disponível em: <www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/download/3822/2827>. Acessado em: 20 abr 2016.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA / FAEPE. Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. 2005.

FERNANDES, F. R.; DA LUZ, A. V.; CASTILHOS, Z. C. **Agrominerais para o Brasil**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 2010. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/agrominerais>>. Acessado em: 24 dez 2015.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3 edição, Viçosa: UFV, 421 p. 2008.

FITTIPALDI, W. L. S. L. **Sistemas de cultivo e gesso nas características químicas do solo e produtividade de milho consorciado com braquiária.** Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade de Marília, Marília. 2006. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp007297.pdf>>.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; JUNIOR, J. A. **Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000300023>. Acessado em: 14 fev 2016.

FOLTRAN, R. **Aplicação de calcário, silicato e gesso em soqueira de cana-de-açúcar sem despalha a fogo.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. 2008. Disponível em: <<http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/173629>>. Acessado em: 14 jan 2016.

FONTES, P. C. R. **Sugestões de adubação para hortaliças.** In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVARES, V. G. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação, Viçosa, 359 p. 1999.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. **Cauliflower.** FAO. 2009.

GALVÃO, J. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, V. F.; PINHEIRO, D. P.; MELO, N. C. **Adubação potássica em híbridos de sorgo forrageiro cultivados em sistemas de manejo do solo na Amazônia Oriental.** Revista Caatinga, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 70 – 79. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v28n4/1983-2125-rcaat-28-04-00070.pdf>>. Acessado em: 01 abr 2016.

GANEM, E. L. O. **Caracterização dos sistemas de produção de milho no município de Vitória da Conquista – BA: Estudo de Caso.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista. 2013.

GODOY, A. R.; SALATA, A. C.; CARDOSO, A. I. I.; EVANGELISTA, R. M.; KANO, C.; HIGUTI, A. R. O. **Produção e qualidade pós-colheita de couve-flor em função de doses de potássio em cobertura.** Scientia Agraria Paranaensis, v. 11, n. 2, p 33-42. 2012. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/72325/1/CFlorPotassio2012.pdf-cristiaini-kano.pdf>>. Acessado em: 15 jan 2016.

GONÇALVES, J. R. P.; DIOGENES, H. C.; ATROCH, A.; CHIA, G. S. **Comportamento de cultivares de milho verde em ecossistema de várzea e terra firme no Estado do Amazonas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51. Anais, Viçosa. 2011. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/55562/1/2011AA50.pdf>>. Acessado em: 18 mar 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006.** IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em 12 out 2015.

IPI. Potássio: um nutriente essencial para a vida. Instituto Internacional do Potássio. 2012.

JÚNIOR, O. P. M.; CARDOSO, A. F.; LEÃO, E. F.; PEIXOTO, N. **Desempenho de cultivares de couve-flor de verão em Ipameri.** Ciência Rural, Santa Maria. 2012. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/2012nahead/a30512cr6583.pdf>>. Acessado em: 14 jan 2016.

JAMES, G.; WITTEN, D.; HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. **An Introduction to Statistical Learning: with applications in R.** Springer, 426 p. 2013. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>

JESUS, M.; DUETE, W. L. C.; DUETE, R. R. C.; SACRAMENTO, R. V. O.; COSTA, J. C. A.; SOUZA, L. A. S. **Efeitos do calcário e gesso em algumas características químicas de um Latossolo Amarelo.** XXXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 31., 2007, Gramado-RS.

JUNIOR, O. A.; RALISCH, R.; CARVALHO, P. R.; CALONEGO, J. C. **Crescimento e produtividade de milho em três sistemas de manejo de solo e dois espaçamentos entrelinhas.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 35, n. 3, p. 1221-1230, maio/jun. 2014. Disponível em: < <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/10737>>. Acessado em: 16 abr 2016.

KANO, C.; SALATA, A. C.; CARDOSO, A. I. I.; EVANGELISTA, R. M.; HIGUTI, A. R. O.; GODOY, A. R. **Produção e qualidade de couve-flor cultivar Teresópolis Gigante em função de doses de nitrogênio.** Horticultura Brasileira 28: 453-457. 2010. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362010000400013> Acessado em: 14 dez 2015.

KURIHARA, C. H.; TSUJIGUSHI, B. P.; SILVA, J. V. S.; SOARES, R. B. **Resposta de milho safrinha consorciado com Brachiaria ruziziensis à calagem, gessagem e ao manejo da adubação (Safras 2011 e 2012).** XII Seminário Nacional de Milho Safrinha, Estabilidade e Produtividade, Dourados. 2013. Disponível em: < <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/974987>>. Acessado em: 14 abr 2016.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A. **Clima. Cultivo do Sorgo.** Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção 2, 4ª edição. Embrapa. 2008.

LANDAU, E. C.; SANS, L. M. A.; SANTANA, D. S. **Cultivo do milho.** Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção 1, 6 edição. Embrapa. 2010.

LEAL, A. J. F.; HOLANDA, H. V.; MINGUINI, R.; ALVES, M. C.; ANSELMO, J. L. **Atributos químicos do solo cultivado com algodão em função de sistemas de manejo e doses de gesso.** XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia. 2012. Disponível em: < cpcs.sites.ufms.br/files/2012/10/quimicos-Gesso.pdf>. Acessado em: 20 mar 2016.

LEÃO, D. A. S.; FREIRE, A. L. O.; MIRANDA, J. R. P. **Estado nutricional de sorgo cultivado sob estresse hídrico e adubação fosfatada.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 74-79, jan./mar. 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pat/v41n1/a13v41n1.pdf>>. Acessado em: 26 mar 2016.

LEITE, M. L. M. V. **Crescimento vegetativo do sorgo sudão (*Sorghum sudanense* (piper) stapf), em função da disponibilidade de água e fontes de fósforo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006. Disponível em: < http://www.cca.ufpb.br/ppgz/www/files/dissertacao2006/Mauricio_Luiz_de_Mello_Vieira_Leite-06.pdf>. Acessado em: 20 fev 2016.

LUZ, M. J. S.; FERREIRA, G. B.; BEZERRA, J. R. C. **Saiba como adubar e corrigir o solo de sua propriedade.** Comunicado Técnico 148. Embrapa, Campina Grande. 2000.

LUZ, C. A. **Estudo de um cimento com baixo impacto ambiental (BIA) a partir do clínquer sulfoaluminoso e do fosfogesso.** Pós-graduação (Engenharia Civil) – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre. 2005. Disponível em: <http://www.sumiarios.org/sites/default/files/pdfs/3655-12341-1-pb.pdf>>. Acessado em: 04 set 2014.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Ecofisiologia da produção de sorgo.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. 4 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 87). 2003.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; RODRIGUES, J. A. S. **Cultivo do sorgo. Embrapa Milho e Sorgo.** Sistemas de produção 2, 4ª edição. Embrapa. 2008.

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

MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E.; PAULINO, V. T. **Micronutrientes uma visão geral.** In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na agricultura. Piracicaba, POTAFOS, p.1-34. 1991.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações.** Piracicaba: POTAFÓS. 1997.

MALAVOLTA, E. **Absorção, transporte e redistribuição de K na planta.** In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004.

MALHEIRO, L. H. **Disponibilidade de ²³⁸U e ²³²Th na utilização de fosfogesso na agricultura.** Dissertação de mestrado. IPEN. Universidade de São Paulo. 2014. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-13102014-131309/pt-br.php>>. Acessado em: 12 nov 2015.

MAMBREU, E.; CARABOLANTE, M. H.; REIS, S. **Hortaliças: valor nutritivo, medicinal e cromoterápico.** Jaboticabal: Funep, 145p. 2007.

MANCUSO, M. A. C. **Fontes e doses de potássio na cultura de café.** Dissertação de mestrado. Universidade do Estado de São Paulo, UNESP. Botucatu, 2012. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/11449/86405>>. Acessado em: 14 fev 2016.

MARSCHNER H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 889 p. 1995.

MATEUS, G. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; BORGHI, É.; PARIZ, C. M.; COSTA, C.; JOÃO SILVEIRA, J. P. F. **Adubação nitrogenada de sorgo granífero consorciado com capim em sistema de plantio direto**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.46, n.10, p.1161-1169. 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n10/46v10a06.pdf>>. Acessado em: 14 jan 2016.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. **Diagnose foliar**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa: UFV, p. 143-168. 1999.

MARTINS, O. C.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; RIBEIRO, A. C.; BARROS, N. F. **Respostas à aplicação de diferentes misturas de calcário e gesso em solos**. I. Alterações químicas no perfil do solo. Revista Ceres, Viçosa, MG, v.49, n.282, p.123- 135. 2002. Disponível em: < <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/2798>>. Acessado em: 23 abr 2016.

MARTINS, É. S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. F. **Agrominerais – rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura**. Agrominerais para o Brasil. 2008. Disponível em: < <http://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/09-agrominerais-rochas-silicaticas.pdf>>. Acessado em: 10 set 2015.

MARTINS, S. A.; UCHÔA, S. C. P.; ALVES, J. M. A.; GALVÃO, L. M.; SILVA, R. H. **Qualidade e produção de milho verde em função de variedades e doses de potássio em ecossistema de cerrado**. In: 62 Reunião Anual da SBPC. 2009. Disponível em: < <http://www.sbpnet.org.br/livro/62ra/resumos/resumos/6540.htm>>. Acessado em 02 abr 2016.

MASCHIETTO, E. H. G. **Gesso agrícola na produção de milho e soja em solo de alta fertilidade e baixa acidez em superfície em plantio direto**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa – PR. 2009.

MATOS, T. H. C. **Caracterização hidromecânica do fosfogesso e das misturas solo-fosfogesso**. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental Universidade de Brasília, Brasília. 2011. Disponível em: < <http://repositorio.unb.br/handle/10482/9699>>. Acessado em: 10 nov 2015.

MAY, A.; TIVELLI, S.; VARGAS, P.; SAMRA, A.G.; SACCONI, L.V.; PINHEIRO, M.Q. **A cultura da couve-flor**. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 2007. Disponível em: < http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/tecnic>. Acessado em: 14 dez 2015.

MAZZILLI, B.; SAUEIA, C. H. R. **Implicações radiológicas da utilização de fosfogesso como material de construção**. Ambiente Construído, v.1, n.2, p. 17-22, 1997. Disponível em: < <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3351>>. Acessado em 30 out 2015.

MELLO, R.; NÖRNBERG, J. L.; ROCHA, M. G. **Potencial produtivo e qualitativo de híbridos de milho, sorgo e girassol para ensilagem**. Revista Brasileira Agrociência, v. 10, n. 1, p. 87-95, jan-mar. 2004.

MELLO, S. C.; CAMARGO, M. S.; VIVIAN, R.; NASCIMENTO, T. S.; OLIVEIRA, E. S.; BERTANHA, R. **Nitrogênio e boro na produção e incidência de haste oca em couve-flor ‘Sharon’.** *Bragantia* 68: 761-764. 2009. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052009>. Acessado em: 14 de 2015.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. **Importância da cadeia produtiva brasileira de hortaliças.** In: 13ª REUNIÃO ORDINÁRIA DA CÂMARA SETORIAL DA CADEIA PRODUTIVA DE HORTALIÇAS. Anais. Brasília. 1-11. 2007. Disponível em: < http://www.abhorticultura.com.br/downloads/cadeia_produtiva.pdf>. Acessado em 14 jan 2016.

MELO, N. C.; FERNANDES, A. R.; GALVÃO, J. R.; SILVA, V. F. A.; GUEDES, R. S. **Produção do sorgo em função de sistemas de manejo e da adubação potássica, na integração lavoura-pecuária.** Anais do 8º Seminário Anual de Iniciação Científica e 2º Seminário de Pesquisa da UFRA. 2010.

MELO, C. N.; FERNANDES, A. R.; SILVA, V. F. A.; GALVÃO, J. R. **Produção do sorgo forrageiro em função de doses de potássio e de sistemas de manejo do solo.** 63ª Reunião Anual da SBPC. 2011. Disponível em: < <http://www.sbpnet.org.br/livro/63ra/resumos/resumos/6132.htm>>. Acessado em 18 abr 2016.

MELO, R. A. A.; SILVA, D. G. **Estudo da viabilidade do uso do fosfogesso como matéria-prima na produção de materiais cerâmicos.** *E-xacta*, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 13-31. 2013. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/928>>. Acessado em: 14 nov 2015.

MEERT, L. **Propriedades químicas do solo e resposta da sucessão trigo-milho-trigo à calagem e à aplicação de doses de gesso em sistema plantio direto.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR. 2013. Disponível em: < http://www.unicentroagronomia.com/imagens/noticias/dissertacao_final_leandro_meert.pdf>. Acessado em: 14 fev 2016.

MICHALOVICZ, L. **Atributos químicos do solo e resposta da sucessão milho-cevada-feijão-trigo influenciados por doses e parcelamento de gesso em plantio direto.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR. 2012. Disponível em http://unicentroagronomia.com/destino_arquivo/dssertacao_final_leandro_>. Acessado em: 17 mai 2016.

MIELNICZUK, J.; SELBACH, P. A. **Capacidade de suprimento de potássio de seis solos do Rio Grande do Sul.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 2, n. 2, p. 115-120. 1978.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução normativa DAS nº 24 de 20 de junho de 2007.** Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Brasília. 2007.

MODA, L. R.; BORGES, B. M. M. N.; FLORES, R. A.; SANTOS, C. L. R.; PRADO, R. M.; SOUSA, J. I. **Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica**. Revista Agro@mbiente On-line, v. 7, n. 2, p. 129-135. 2013. Disponível em: < <http://revista.ufr.br/index.php/agroambiente/article/view/948>>. Acessado em: 14 mar 2016.

MOLINA, L. R.; GONÇALVES, L. C.; RODRIGUEZ, N. M.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J.; FERREIRA, V. C. P. **Avaliação agronômica de seis híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)**. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 52, 385-390. 2000. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352000000400017>

MONTEIRO, B. C. B. A.; CHARLO, H. C. O.; BRAZ, L. T. **Desempenho de híbridos de couve-flor de verão em Jaboticabal**. Horticultura Brasileira 28: 115- 119. 2010. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362010000100022>. Acessado em 20 dez 2015.

MORAES, A. R. A. **A cultura do milho verde**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/MilhoVerde/index.htm>. Acesso em: 14/5/2016.

MORAIS JÚNIOR, O. P.; CARDOSO, A. F.; LEÃO, É. F.; PEIXOTO, N. **Desempenho de cultivares de couve-flor de verão em Ipameri**. Ciência Rural, Santa Maria, Online. 2012. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/2012nahead/a30512cr6583.pdf>>. Acessado em: 11 jan 2016.

NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. V. **Análise e interpretação do potássio no solo**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 2004.

NASCIMENTO, C. W. A. **Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes**. Recife. Imprensa Universitária. 2003.

NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V. **O potássio na agricultura brasileira: fontes e rotas alternativas**. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.) Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 305-335. 2009.

NAVA, G. **Nutrição e rendimento da macieira em resposta às adubações nitrogenada e potássica e ao déficit hídrico**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2007. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-22102007-083552/pt-br.php>>. Acessado em: 14 fev 2016.

NAVA, G.; ERNANI, P. R.; SÁ, A. A.; PEREIRA, A. J. **Soil Composition and nutritional status of apple as affected by long-term application of gypsum**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:215-222. 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-068320120001>. Acessado em: 24 abr 2016.

NETO, R. A. A.; FILHO, J. T. A.; SILVA, F. J.; ROCHA, A. E. Q.; FARIAS, J. J. A. **Desenvolvimento do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) forrageiro**

submetido a diferentes tipos e doses de adubação orgânica. Ciência Agrícola, Rio Largo, v. 12, n. 1, p. 31-40, 2014. Disponível em: < <http://www.seer.ufal.br/index.php/revistacienciaagricola/article/view/1278>>. Acessado em: 24 mar 2016.

NEIS, L.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PINTO, F. A. **Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região do sudoeste de Goiás.** R. Brasileira Ciência, do Solo, 34, 409-416. 2010. Disponível em: < www.scielo.br/pdf/rbcs/v34n2/v34n2a14.pdf>. Acessado em: 14 abr 2016.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; NETO, E. B. **Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relação hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água.** Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.13, p.66-74, 2001. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbfv/v13n1/9275.pdf>>. Acessado em: 14 fev 2016.

NÓIA, N. R. C.; DAVALO, M. J.; RIBON, A. A.; WOSNIAK, H. N. **Efeito de doses de gesso nas propriedades químicas do solo.** Acta Iguazu, Cascavel, v.3, n.4, p. 10-21, 2014. Disponível em: <e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/download/11200/8075>. Acessado em: 04 fev 2016.

NORA, D. D.; AMADO, T. J.; BORTOLOTO, R. F.; FERREIRA, A. O.; KELLER, C.; KUNZ, J. **Alterações químicas do solo e produtividade do milho com aplicação de gesso combinado com calcário.** Magistra, Cruz das Almas – BA, v. 26, n. 1, p. 1 – 10. 2014. Disponível em: <[file:///C:/Users/J/Downloads/01.065-12%20%20%201%20\(15\).pdf](file:///C:/Users/J/Downloads/01.065-12%20%20%201%20(15).pdf)>. Acessado em: 20 mai 2016.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. **Redução da acidez do solo pelo uso de calcário e gesso e resposta da soja cultivada em plantio direto.** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, Petrolina, 1994. Anais. Petrolina, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ EMBRAPA-CPATSA, 1994. p.178.

OLIVEIRA, K. A. P. **Aplicação do fosfogesso na agricultura do Cerrado e suas implicações radiológicas.** Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais. CDTN. 2008. Disponível em: < http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=125023>. Acessado em: 14 jan 2016.

OLIVEIRA, K. A. P. **Fator de transferência de elementos terras raras em solos tropicais tratados com fosfogesso.** Tese de doutorado. UFMG. 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/BUOS-8VHPFM>>. Acessado em: 14 nov 2015.

OLIVEIRA, M. A.; ZUCARELI, C.; SPOLAOR, L. T.; DOMINGUES, A. R.; FERREIRA, A. S. **Desempenho agrônomo do milho sob adubação mineral e inoculação das sementes com rizobactérias.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol.16, no.10, Campina Grande. 2012. Disponível em: < <http://www.agriambi.com.br/revista/v16n10/v16n10a02.pdf>>. Acessado em: 19 abr 2016.

OLIVEIRA, P.; NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSK, J.; PORTES, T. A. **Crescimento e produtividade de milho em função da cultura antecessora**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 43, n. 3, p. 239-246, jul./set. 2013. Disponível em: <https://revistas.ufg.emnuvens.com.br/pat/article/view/22077>>. Acessado em: 13 mar 2016.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ceres, 400 p. 1981.

OTTO, R.; VTTI, G. C.; LUZ, P. H. C. **Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 34: 1137-1145. 2010. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832010000400013>. Acessado em: 12 dez 2015.

PAULETTI, V.; PIERRI, L.; RANZAN, T.; BARTH, G.; MOTTA, A. C. V. **Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto**. Revista Brasileira Ciência Solo, vol.38 n.2, Viçosa. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832014000200014>. Acessado em: 21 mai 2016.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. **Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminum following lime and gypsum applications to a Brazilian Oxisol**. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 48, n. 1, p. 33-38. 1984.

PAVINATO, P. S.; CERETTA, C. A.; GIROTTO, E.; LOPES MOREIRA, I. C. **Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n2/a10v38n2.pdf>>. Acessado em: 12 dez 2015.

PEREIRA, O. G.; OBEID, J. A.; GOMIDE, J. A.; et al. **Produtividade de uma variedade de milho (Zeamays L.) e de três variedades de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) e o valor nutritivo de suas silagens**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 22, n. 1, p. 31 - 38, 1993. Disponível em: <www.sbz.org.br/revista/artigos/download.php?file=526.pdf>. Acessado em: 4 de mar 2016.

PEREIRA, F. R. S. **Gesso de minério associado a fontes de fósforo na cultura do milho em sistema plantio direto no estado de Alagoas**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu. 2007. Disponível em: < <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0187.pdf>>. Acessado em: 24 jan 2016.

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. **Produção de milho em sistema irrigado**. In: RESENDE, M.; ALBUQUERQUE, P. E. P.; COUTO, L. A cultura do milho irrigado. Brasília: EMBRAPA. 2003.

PESSONI, P. T. **Calagem e gessagem na produtividade da soja e do triticale**. Dissertação de mestrado. Instituto Agrônomo, Campinas. 2012. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstitutoposgraduacao/dissertacoes/pb1212210%20Patricia%20Terezinha%20Pession.pdf>>. Acessado em: 13 jun 2016.

PINHO, L. **Qualidade físico-química e sanitária de tomate cereja e milho verde, cultivados em sistemas de produção orgânico e convencional.** Tese de doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Montes Claros. 2008. Disponível em: < <http://hdl.handle.net/1843/NCAP-89YNW8>>. Acessado em: 14 mar 2016.

PIZETTA LC; FERREIRA ME; CRUZ MCP; BARBOSA JC. **Resposta de brócolis, couve-flor e repolho à adubação com boro em solo arenoso.** Horticultura Brasileira 23: 51-56. 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362005000100011>. Acessado em 20 jan 2016.

PÔRTO, D. R. Q. **Densidades populacionais e épocas de plantio na cultura da couve-flor, híbrido Verona 284.** Tese de doutorado. UNESP, Jaboticabal. 2009. Disponível em: < <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/pv/d/2621.pdf>> Acessado em: 12 fev 2016.

QUAGGIO, J. A.; DECHEN, A. R.; RAIJ, B. V. **Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e a lixiviação de bases no solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 6:189-194. 1982.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. V.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. A. **Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.28, p. 375-383, 1993. Disponível em: < <http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/3888>>. Acessado em: 24 mar 2016.

QUEIROZ, R. P. **Adubação fosfatada corretiva e gesso no Plantio direto de soja e sorgo sobre pastagem degradada na região do cerrado.** Dissertação de mestrado. UNESP, Ilha Solteira. 2005. Disponível em: < http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98875/queiroz_rp_me_ilha.pdf?sequence>. Acessado em: 23 abr 2016.

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>. Acessado em: 10 out 2015.

RAIJ, B. V. **Gesso Agrícola na Melhoria do Ambiente Radicular no Subsolo.** ANDA- Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas. São Paulo, 88 p.1988.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC. 285p. 1996.

RAIJ B. V.; SILVA, N. M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J. A; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELINAZZI JÚNIOR, R; DECHEN, A. R.; TRANI, P. E. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2 ed. Campinas: Instituto Agronômico, Fundação IAC. 1996.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo.** 2 ed. rev. ampl. Campinas, Instituto Agronômico & Fundação IAC, 285p. 1997. (Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. V.; FURLANI, P. R.; QUAGGIO, J. A.; JUNIOR, A. P. **Gesso na produção de cultivares de milho com tolerância diferencial a alumínio em três níveis de calagem.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 22, p. 101-108, 1998. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010006831998000100014&script=sci_abstract&tlng=. Acessado em: 14 mar 2016.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas Instituto Agronômico, 285p. 2001.

RAIJ, B. V. **Gesso na agricultura.** Campinas: Instituto Agronômico, 233 p. 2008.

RAJKOVIĆ, M. B.; TAŠCOVIĆ, D. V. **Investigation of the possibilities of phosphogypsum application for building partitioning walls - Elements of a prefabricated house.** APTEF, v.33, p. 71-92. 2002. <https://doi.org/10.2298/APT0233071R>

RAMOS, S. B. **Atributos químicos do solo, densidade de raiz e produtividade da cana-de-açúcar em função da aplicação de gesso agrícola.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. 2011. Disponível em: < <http://base.repositorio.unesp.br/handle/unesp/88255>>. Acessado em: 20 mar 2016.

RAMOS, B. Z.; TOLEDO, J. P. V. F.; LIMA, J. M.; SERAFIM, M. E.; BASTOS, A. R. R.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSCIONE, A. R. **Doses de Gesso em cafeeiro: Influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e pH na solução de um Latossolo Vermelho distrófico.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.37, n.4, p.1018-1026, 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-068320130>. Acessado em 19 mai 2016.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; FONTANIVA, S. **Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35. 2011. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-0683201100023>. Acessado em: 15 jan 2016.

RAMPIM, L.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. **Fósforo e enxofre disponível, alumínio trocável e fósforo remanescente em latossolo vermelho submetido ao gesso cultivado com trigo e soja.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 34, n. 4, p. 1623-1638, jul./ago. 2013. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/10748/13051>. Acessado em: 25 abr 2016.

RAVAZZI, P. A. **Teste biológico para detectar barreira química em amostras de subsolo ácidos.** Dissertação de mestrado. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. 2009. Disponível em: < <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/dissertacoes/Prisc>>. Acessado em: 14 mai 2016.

RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J.; LUPATINI, G. C.; SANTOS, E. J. S. **Modificações em atributos químicos de solo arenoso sob sistema plantio direto.** Revista Brasileira

de Ciência do Solo, 22:713-721. 1998. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v22n4/17.pdf>>. Acessado em: 20 mar 2016.

RIBAS, P. M. **A implantação da cultura de sorgo**. 1 edição. Sete Lagoas: Embrapa. 2003.

RIBEIRO, G. **Adubação potássica via solo e via axila foliar no coqueiro anão verde na região norte fluminense**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos dos Goytacazes. 2008. Disponível em: < <http://uenf.br/pos-graduacao/producao-vegetal/files/2014/11/Guilherme-Ribeiro.pdf>>. Acessado em: 13 mar 2016.

ROCHA, M. **Difusão do uso agrícola do fosfogesso**. In: I Seminário sobre o Uso do Fosfogesso na Agricultura. Anais. IBRAFOS, Brasília, 1985. Disponível em: < <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=38511&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22ROCHA,%20M.%22&qFacets=autoria:%22ROCHA,%20M.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>. Acessado em 30 out 2015.

ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, A. C.; RODRIGUES, A. N.; LIRA JÚNIOR, M. A.; FREIRE, F. J. **Emprego do gesso do Araripe na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Ciências Agrônômicas, 3:307-312, 2008. Disponível em: < <http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=282&path%5B%5D=220>>. Acessado em: 04 mar 2016.

ROCHA, I. T. M. **Gesso mineral no condicionamento de subsolo e na produção de sorgo em Pernambuco**. Dissertação de mestrado. UFRPE, Recife. 2013. Disponível em: < http://200.17.137.108/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1838 >. Acessado em: 14 abr 2016.

RODRIGUES, M. A. C.; BUZETTI, S.; FILHO, M. C. M. T.; GARCIA, C. M. P.; ANDREOTTI, M. **Adubação com KCl revestido na cultura do milho no Cerrado**. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.18, n.2, p.127-133. 2014. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n2/a01v18n2.pdf>>. Acessado em: 19 mar 2016.

RÖMHELD, V. **Efeitos do K nos processos da rizosfera e na resistência das plantas às doenças**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. 2004. Disponível em: < [http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/\\$webindex/article=11D691BA032572720066](http://www.ipni.net/ppiweb/pbrazil.nsf/$webindex/article=11D691BA032572720066)>. Acessado em: 14 jan 2016.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 8. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite. 2010. Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf>>. Acessado em: 14 mai 2016.

ROSA, W. J. **Cultura do Sorgo**. Departamento Técnico da Emater – MG. Emater. 2012.

RUFO, R. C. **Estudo laboratorial de misturas de fosfogesso, solo tropical e cal para fins de pavimentação**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade

Federal de Goiás, Goiânia. 2009. Disponível em: < <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/>>. Acessado em: 24 nov 2015.

RUSSO, A. C. **Avaliação da biodisponibilidade dos radionuclídeos ^{226}Ra , ^{228}Ra e ^{210}Pb presentes nos fertilizantes fosfatados e no fosfogesso de procedência nacional.** Dissertação de mestrado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. USP 2013. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-52013-082928/pt-br.php>>. Acessado em 14 dez 2015.

SÁ, J. C. M.; FERREIRA, A. O.; BRIEDIS, C.; VIEIRA, A. M.; FIGUEIREDO, A. G. **Extração de nutrientes e produtividade de genótipos de milho afetados por níveis de palha.** Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v. 33, n. 4, p. 715-722, 2011. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212011000400023>. Acessado em: 18 mar 2016.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. **Uso do gesso mineral em Latossolo cultivado com cana-de-açúcar.** Revista Caatinga, Mossoró, v.20, n.1, p.36-39. 2007. Disponível em: < <http://www.redalyc.org/pdf>>. Acessado em: 24 jan 2016.

SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. **Cultivo do milho.** Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção 1, 6 edição. Embrapa. 2010.

SANTANA, M. C. B. **Desempenho produtivo de híbridos comerciais de sorgo granífero sob deficiência hídrica.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2013. Disponível em: < <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/974722>>. Acessado em: 24 abr 2016.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. **Enrolamento e expansão das folhas de milho submetidas a déficit hídrico em diferentes solos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 1, p. 1-6, 1998. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-36619990001001&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acessado em: 18 abr 2016.

SANTOS, A. R. **Análise termoeconômica do processo de transformação química do fosfogesso em torta carbonatada ou torta hidróxido.** Dissertação Engenharia Mecânica Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá. 2001.

SANTOS, A. J. G. **Avaliação do impacto radiológico ambiental do fosfogesso brasileiro e lixiviação de ^{226}Ra e ^{210}Pb .** Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, autarquia associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002. Disponível em: < http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/064/41064245.pdf>. Acessado em: 12 dez 2015.

SANTOS, R. V.; VITAL, A. F. M.; SOUTO, J. S.; SALES, F. C. V.; HOLANDA, A. C.; SOUTO, P. C. **Uso de gesso e fósforo em solo degradado cultivado com Crotalaria.** SIRAD. Belo Horizonte. 2002.

SANTOS, J. R.; BICUDO, S. J.; NAKAGAWA, J.; ALBUQUERQUE, A. W.; CARDOSO, C. L. **Atributos químicos do solo e produtividade do milho afetados por corretivos e**

manejo do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p.323–330. 2006. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a11.pdf>>. Acessado em 03 mar 2016.

SANTOS, F. C.; FILHO, M. R. A.; RESENDE, Á. V.; OLIVEIRA, A. C.; GOMES, T. C.; OLIVEIRA, M. S. **Adubações nitrogenada e potássica no sorgo biomassa-produtividade e qualidade de fibra.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.13, n.1, p. 1-13. 2014. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v13n1p1-13>

SAUEIA, C.H.R. **Caracterização radioquímica do fosfogesso e implicações radiológicas de sua utilização como material de construção.** Dissertação de mestrado, IPEN, São Paulo, 1998. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Catia%20Heloisa%20Rosignoli%20Saueia_M.pdf>. Acessado em: 10 nov 2015.

SAUEIA, C. H. R.; MAZZILLI, B. P.; FÁVARO, D. I. T. **Natural radioactivity in phosphate rock, phosphogypsum and phosphate fertilizers in Brazil.** Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, v. 264, p. 445-448, 2005. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/239116199_Natural_radioactivity_in_phosphate_rock_phosphogypsum_and_phosphate_fertilizers_in_Brazil>. Acessado em: 10 out 2015.

SERAFIM, M. E.; OLIVEIRA, G. C.; OLIVEIRA, A. S.; LIMA, J. M.; GUIMARÃES, P. T. G.; COSTA, J. C. **Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do alto São Francisco, MG: Um estudo de caso.** Biosci. J., 27:964-977, 2011. Disponível em: < <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/12521/8132>>. Acessado em: 19 mai 2016.

SEVERINO, F. J.; CARVALHO, S. J. P.; CHRISTOFFOLETI, P. J. **Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio.** I – Implicações sobre a cultura do milho (*Zea mays*). Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 23, n. 4, p. 589-596, 2005. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582005000400005>. Acessado em: 14 jan 2016.

SHELP, B. J.; SHATTUCK, V. I.; McLELLAN, D.; LIU, L. **Boron nutrition and the composition of glucosinolates and soluble nitrogen compounds in two broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) cultivars.** Canadian Journal Plant Science, v. 72, p. 889-899, 1992. Disponível em: < <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.4141/cjps92-112>>. Acessado em: 24 mar 2016.

SILVA, P. S. L.; PATERNIANI, E. **Produtividade de “milho verde” e de grãos de cultivares de *Zea mays* L.** Ciência e Cultura, São Paulo, v. 38, n. 4, p. 707 – 712. 1986.

SILVA, D. N.; MEURER, E. J.; KÄMPF, N.; BORKERT, C. M. **Mineralogia e formas de potássio em dois Latossolos do estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas.** Revista Brasileira Ciência do Solo, 19:433-439. 1995.

SILVA, N. M. A.; RAIJ, B. V.; CARVALHO, L. H. D.; BATAGLIA, O. C.; KONDO, J. I. **Efeitos do calcário e do gesso nas características químicas do solo e na cultura do algodão.** Bragantia, 56:389-401, 1997. Disponível

em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051997000200018>. Acessado em: 25 abr 2016.

SILVA, D. F. **Micronutrientes e metais pesados em fosfogesso – acúmulo, mobilidade e fator de transferência em Latossolos do cerrado.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2009. Disponível em: < <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5441>>. Acessado em: 03 jun 2016.

SILVA, A. G.; BARROS, A. S.; SILVA, L. H. C. P.; MORAES, E. B.; PIRES, R.; TEIXEIRA, I. R. **Avaliação de cultivares de sorgo granífero na safrinha no sudoeste do estado de Goiás.** Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 39, n. 2, p. 168-174, abr./jun. 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufg.br/emnuvens.com.br/pat/article/viewFile/3320>>. Acessado em: 10 abr 2016.

SILVA, M. C. P.; GROppo, G. A.; TESSARIOLI NETO, J. **Couve-flor (Brassica oleracea var. botrytis).** 2009. Disponível em: < <http://www.cati.sp.gov.br/novacati/intranet/Tecnologias/culturas/couveflor.html>>. Acessado em: 14 nov 2015.

SILVA, A. M.; NETO, J. F.; MANCUSO, M. A. C.; COSTA, C. H. M.; MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. **Produtividade da Cultura do Milho em função de Doses de Fertilizante Potássico Agrícola a partir de Rocha Fonolito.** XXVIII Congresso Brasileiro de Milho e Sorgo Potencialidades, Desafios e Sustentabilidade. UFG, Goiânia. 2010. Disponível em: < http://www.abms.org.br/cn_milho/trabalhos/0525> Acessado em: 30 abr 2016.

SILVA, R. M.; GIULIETTI, M. **Fosfogesso: geração, destino e desafios.** Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Disponível em: < <http://mineralis.cetem.gov.br:8080/handle/cetem/918>>. Acessado em: 10 out 2015.

SILVA, V. F. A.; FURLANI, C. E.; TRICAI, É.; BERTONHA, R. S.; CHIODEROLI, C. A.; RAVELI, M. B. **Componentes de Rendimento do Milho em Sistema de Plantio Direto em Função de Hastes Sulcadoras e Profundidades.** XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Águas de Lindóia. 2012. Disponível em: < http://www.abms.org.br/29cn_milho/10651.pdf>. Acessado em: 25 mar 2016.

SILVA, H. V. **Análise experimental do fosfogesso como isolante térmico através da transferência de calor por condução.** Dissertação de mestrado. Universidade de Santa Cecília. 2013. Disponível em: < <http://sites.unisanta.br/ppgmec/dissertacoes/dissert>>. Acessado em: 14 dez 2015.

SILVA, A. L. P. **Adubação fosfatada e potássica para brócolis e couve-flor em latossolo com alto teor desses nutrientes.** Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista, UNESP, Jaboticabal. 2013. Disponível em: < <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11>>. Acessado em: 12 dez 2015.

SILVA, E. A.; OLIVEIRA, G. C.; CARDUCCI, C. E.; SILVA, B. M.; LARISSA, L. M.; COSTA, J. C. **Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Latosol under Coffee crop.** Rev. Cienc. Agrar., v. 56, n. 1, p. 25-32, jan./mar. 2013. Disponível em: < <http://www.periodicos.ufra.edu.br/index.php/ajaes>>. Acessado em: 14 fev 2016.

SILVA G. A. **Interação de genótipos por épocas de semeadura em couve-flor**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Lavras. 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4439>>. Acessado em: 11 dez 2015.

SILVEIRA, R. L. V. A. **Efeito do potássio no crescimento, nas concentrações dos nutrientes e nas características da madeira juvenil de progênies de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden cultivadas em solução nutritiva**. Tese de doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba. 2000. Disponível: <<http://www.ipef.br/servicos/teses/arquivos/silveira,rlva.pdf>>. Acessado em: 01 fev. 2016.

SLACK, A.V. **Phosphoric Acid**. Marcel Dekker, New York: USA, 1968.

SMILI, F. F.; REIS, R. A.; FURLAN, B. N.; PAZ, C. C. P.; LIMA, M. L. P.; BELLINGIERI, P. A. **Resposta do híbrido de sorgo-sudão à adubação nitrogenada e potássica: composição química e digestibilidade in vitro da matéria orgânica**. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 2, p. 474-480, mar./abr.. 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v32n2/20.pdf>>. Acessado em: 20 mar 2016.

SOMAVILLA, L. **Gesso ou intervenção mecânica nas melhorias do gradiente de cátions do solo e na produtividade da soja e milho em plantio direto**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS. 2014. Disponível em: http://coral.ufsm.br/ppgaaa/images/Lucindo_Somavilla.pdf>. Acessado em: 19 mai 2016.

SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. **Atributos químicos do solo decorrentes da aplicação em superfície de calcário e gesso em sistema plantio direto recém-implantado**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:675-688. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v32n2/22.pdf>>. Acessado em: 08 abr 2016.

SOUSA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. **Acidez do solo e sua correção**. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F. de; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B. & NEVES, J. C. L. (Eds). Fertilidade do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.205-274. 2007.

SOUSA, C. C. M. **Melhorias no ambiente edáfico e na cultura do milho promovidas pelo uso de gesso, cobertura com palha de leguminosas arbóreas e fertilizantes minerais**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Maranhão, UEMA. 2012.

SOUSA, N. T.; THEOTONIO, D. M.; SILVA, K. C. A.; JÓIA, N. F. R.; CÉZARE, M.; TOLFO, A. L. T. **Estado nutricional de híbridos de sorgo granífero cultivados em Argissolo do Noroeste Paulista**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal. 2015. Disponível em: <<http://www.datavideosom.com/cbcs/2383.pdf>>. Acessado em 25 mar 2016.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 20 p. 1996. (Circular técnica, 32).

SOUZA, F. R.; JUNIOR, E. J. R.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; ROSA, Y. B. C. J.; ZEVIANI, W. M. **Efeito do gesso nas propriedades químicas do solo sob dois sistemas de manejo**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1717-1732, set./out. 2012.

Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76724/1/semina.pdf>>. Acessado em: 14 mar 2016.

STEINER, F.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PIVETTA, L. A.; CASTOLDI, G. **Atributos químicos do solo em diferentes sistemas de culturas e fontes de adubação.** Global Science and Technology, v. 04, n. 01. 2011. Disponível em: < <http://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/287>>. Acessado em: 20 abr 2016.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. **Nutrição mineral da soja.** In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. Cultura da soja nos cerrados. Piracicaba: Potafós, p. 109-110. 1997.

TANAKA, A. A. **Desenvolvimento de plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de lençol freático.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Botucatu. 2010. Disponível em: < <http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/162652>>. Acessado em: 14 mar 2016.

TARSITANO, R. A. **Aplicação de calcário e gesso em sucessão de culturas em plantio direto irrigado: avaliação técnica e econômica.** Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista. UNESP, Ilha Solteira. 2013. Disponível em: < <http://base.repositorio.unesp.br/handle/unesp/106160>>. Acessado em: 29 abr 2016.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. V. Hortaliças. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo, p. 157-164. 1996 (Boletim técnico, 100).

TRANI, P. E.; RAIJ, B. V. Hortaliças. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo.** 2 ed. rev. ampl. Campinas: Instituto Agrônomo & Fundação IAC, 285p. 1997. (Boletim Técnico, 100).

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Safra Mundial de Milho 2014/2015.** 9º Levantamento do USDA. Informativo Deagro. Departamento do Agronegócio, FIESP. 2015.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M. C. M. T. **Fontes e doses de NPK em milho irrigado sob plantio direto.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 41, n. 2, p. 254-263, abr./jun. 2011. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/pat/v41n2/a15.pdf>>. Acessado em: 24 mar 2016.

VELOSO, C. A. C.; BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, I. A. J. M. **Efeito de diferentes materiais no pH do solo.** Scientia. Agrícola, 49:123-128, 1992. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161992000400016>. Acessado em: 23 mar 2016.

VELOSO, C. A. C.; SILVA, A. R. B.; BRASIL, E. C.; SILVA, A. R.; FRANZINI, V. I.; CARVALHO, E. J. M.; SOUZA, S. S. **Adubação potássica para a cultura do milho no oeste do Pará.** In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia, 33. 2012.

Disponível em: < <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/46712/1/>> Acessado em: 14 mar 2016.

VERDIAL, M. F.; CARDOSO, A. I. I.; LIMA, M. S.; CHAVES, C. M. **Coincidence of flowering time and the productivity and quality of cauliflower hybrid seeds.** Scientia Agricola, v. 58, n. 3, p.533-539, jul-set. 2001. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000300015> Acessado em: 12 dez 2015.

VIANA, J. H. M.; CRUZ, J. C.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. **Manejo do Solo para a Cultura do Milho.** Circular Técnica 77. Embrapa, Sete Lagoas. 2006.

VICENSI, M. **Fertilidade do solo, nutrição de plantas, produção de grãos e renda acumulada em função de doses e parcelamentos de gesso agrícola em plantio direto.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava-PR. 2015.

VILELA, L. C.; SANTOS, A. C.; BARRETO, P. M.; BRITO, S. S.; SILVA, J. E. C.; OLIVEIRA, L. B. T. **Propriedades químicas de Latossolo Vermelho em função da aplicação de gessagem e calagem.** Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient., Curitiba, v. 8, n. 1, p. 19-27, jan./mar. 2010. Disponível em: <<http://www2.pucpr.br/reol/pb/index.php/academica?ddl=3709&dd99=view&dd98=pb>>. Acessado em: 15 mai 2016.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. **Cálcio, magnésio e enxofre.** In: MANLIO, S. F. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.299-325. 2006.

WADT, P. G. S. **Alterações eletroquímicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo tratado com carbonato e sulfato de cálcio.** Scientia Agricola, Piracicaba, v.57, n.3, p.519-524. 2000. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162000000300023>. Acessado em: 14 abr 2016.

WENQIANG, F.; TU, S.; LIU, Y.; QUIN, Y. LIAO, M. **Balanced fertilization increases cauliflower yield na markeatability.** Better Crops, v. 88. 2004. Disponível em: < [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/F4BA5DD789C19E8B852579800081E618/\\$FILE/Better%20Crops%202004-1%20p25.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/F4BA5DD789C19E8B852579800081E618/$FILE/Better%20Crops%202004-1%20p25.pdf)>. Acessado em: 14 de nov 2015.

ZAMBROSI, F. C. B.; ALLEONI, L. R. F.; CAIRES, E. F. **Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 37, n. 1, p. 110-117. 2007. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n1/a18v37n1.pdf>>. Acessado em 14 mar 2016.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. M.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMIDT, M. R. **Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja.** Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, abr./jun. 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pat/v45n2/1517-6398-pat-45-02-0128.pdf>>. Acessado em: 14 abr 2016.

ZARDO FILHO, R. **Gesso agrícola e adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto.** Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2011. Disponível em: < http://www.bicen-tede.uepg.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=989>. Acessado em: 21 jan 2015.