



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**REATIVIDADE E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO VERDETE E VERDETE  
CALCINADO COMO FERTILIZANTES MULTINUTRIENTES NO ARROZ  
INUNDADO**

RAFAEL GÓMEZ ARRIETA

2017

RAFAEL GOMEZ ARRIETA

**REATIVIDADE E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO VERDETE E VERDETE  
CALCINADO COMO FERTILIZANTES MULTINUTRIENTES NO ARROZ  
INUNDADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do programa de  
pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de  
“mestre”

Orientador

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

RAFAEL GOMEZ ARRIETA

**REATIVIDADE E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO VERDETE E VERDETE  
CALCINADO COMO FERTILIZANTES MULTINUTRIENTES NO ARROZ  
INUNDADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do programa de  
pós-graduação em Agronomia – Mestrado, área de  
concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de  
“mestre”

APROVADA em 15 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa

UFU

Profa. Dra. Lucélia Alves Ramos

UFU

Profa. Dra. Anelisa de Aquino Vidal Lacerda Soares

APTA

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira  
ICIAG-UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

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

---

A775r      Arrieta, Rafael Gómez, 1989-  
2017      Reatividade e eficiência agrônômica do verdete e verdete calcinado  
            como fertilizantes multinutrientes no arroz inundado / Rafael Gómez  
            Arrieta. - 2017.  
            88 f. : il.

            Orientador: Hamilton Seron Pereira.  
            Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
            Inclui bibliografia.

            1. Agronomia - Teses. 2. Potássio na agricultura - Teses. 3.  
Fertilizantes potássicos - Teses. 4. Arroz - Adubos e fertilizantes - Teses.  
5. Silício na agricultura - Teses. I. Pereira, Hamilton Seron. II.  
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia. III. Título.

---

CDU: 631

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a Deus todo poderoso, por ter me guiado e fortalecido na condução dos estudos.

Aos meus pais, Álvaro e Rocio, e irmãos Fabian e Jenny pelo apoio. Com todo meu amor e gratidão.

A minha esposa Mônica, pela companhia de coração e alma na distância, e especialmente, a minha filha Clara que nasceu durante o mestrado.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família especialmente meus pais Álvaro e Rocio, pelo imenso apoio.

A todos os docentes do programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia.

Aos professores Hamilton Seron Pereira, Denise Santana e Gaspar Korndörfer, pelos ensinamentos, confiança e orientação na condução do trabalho.

A todos os colegas do Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura (GPSi), em especial Gustavo Alves, Thiago Prudente, Ana Carolina Marostica, Antônio Neto, Luiz Henrique, Bruno Nicchio, Pedro Magno, Bruno Guimarães e demais pessoas que me auxiliaram.

À Organização dos Estados Americanos OEA e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela oportunidade e bolsa de estudos concedida.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO I

- Figura 1. Colheita de panículas de plantas de arroz (A) e exposição das mesmas, para serem secas (B). ..... 25
- Figura 2. Ajustes lineares e quadráticos para número de perfilhos (A), número de panículas (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca dos grãos (D) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação as fontes KCl, Wollastonita e sulfato de manganês, em dois tipos de solos LVd e RQo. .... 29
- Figura 3. Desenvolvimento de plantas de arroz 90 dias após semeadura, em função da aplicação de KCl, sulfato de manganês, Wollastonita e Verdete no LVd (A) e RQo (B). .... 30
- Figura 4. Índice de eficiência agrônômica de Verdete com relação ao KCl, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz semeado no LVd e RQo.
- Figura 5. Ajuste linear para teor de Si no solo (A), Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz (B), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação a Wollastonita em dois tipos de solos, LVd e RQo. .... 34
- Figura 6. Teores de K no solo determinados por Mehlich-1 (A), Resina (B) e ajustes lineares do K acumulado na parte aérea de plantas de arroz (C), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação o KCl em dois tipos de solos LVd e RQo. .... 36
- Figura 7. Percentual de potássio recuperado pelo arroz, calculado com base no potássio acumulado na parte aérea no LVd (A) e no RQo (B). .... 37
- Figura 8. Ajustes lineares para o teor de Mn no solo (A) e acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação a sulfato de manganês em dois tipos de solos, LVd e RQo. .... 39
- Figura 9. Ajustes quadráticos e lineares para o teor de Ca no solo (A) e acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação ao KCl e Wollastonita em dois tipos de solos, LVd e RQo. .... 42
- Figura 10. Ajustes lineares e quadráticos para o teor de Mg no solo (A) e acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| crescentes de Verdete, e em comparação ao KCl e Wollastonita em dois tipos de solos, LVd e RQo. .... | 44 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## CAPITULO II

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Número de perfilhos (A) e ajustes lineares para número de panículas (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca dos grãos (D) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação as fontes KCl e Wollastonita, no LVd..... | 58 |
| Figura 2. Desenvolvimento de plantas de arroz 90 dias após semeadura, em função da aplicação de KCl, Wollastonita e Verdete Calcinado microgranulado (A) e farelado (B), no LVd.....                                                                                                                                       | 59 |
| Figura 3. Índice de eficiência agrônômica do Verdete Calcinado microgranulado e farelado, com relação ao KCl, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz.....                                                                                                                                         | 60 |
| Figura 4. Índice de eficiência agrônômica do Verdete Calcinado microgranulado e farelado, com relação à Wollastonita, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz semeado .....                                                                                                                        | 61 |
| Figura 5. Ajustes lineares para o teor de Si no solo (A), Si acumulado na parte área de plantas de arroz (B), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação com a Wollastonita no LVd. ....                                                              | 63 |
| Figura 6. Ajustes lineares do teor de K no solo determinados por Mehlich-1 (A), Resina (B) e K acumulado na parte aérea de plantas de arroz (C), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação o KCl no LVd.....                                         | 66 |
| Figura 7. Percentual de potássio recuperado pelo arroz, calculado com base no potássio acumulado na parte aérea no LVd.....                                                                                                                                                                                                | 67 |
| Figura 8. Ajuste linear para o teor de Ca no solo (A) e Ca acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete calcinado microgranulado e farelado no LVd .....                                                                                                   | 69 |
| Figura 9. Ajustes lineares para o teor de Mg no solo (A) e Mg acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, no LVd... ..                                                                                               | 70 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 10. Ajustes lineares e quadráticos para número de perfilhos (A), número de panículas (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca dos grãos (D) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação as fontes KCl e Wollastonita, no RQo. .... | 73 |
| Figura 11. Desenvolvimento de plantas de arroz 90 dias após semeadura, em função da aplicação de KCl, Wollastonita e Verdete calcinado microgranulado (A) e farelado (B), no RQo.....                                                                                                                                                     | 74 |
| Figura 12 Índice de eficiência agrônômica do Verdete Calcinado com relação ao KCl, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz no RQo.                                                                                                                                                                                | 75 |
| Figura 13 Índice de eficiência agrônômica do Verdete Calcinado com relação à Wollastonita, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz no RQo.....                                                                                                                                                                    | 76 |
| Figura 14. Ajustes lineares e quadráticos para o teor de Si no solo (A), Si foliar (B) e Si acumulado na parte área de plantas de arroz (C), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação com a Wollastonita, no RQo.....                                              | 78 |
| Figura 15. Modelos lineares em função de doses crescentes de Verdete Calcinado no arroz inundado no RQo, sobre o teor de potássio no solo determinado por Mehlich-1 (A) e resina (B).....                                                                                                                                                 | 81 |
| Figura 16. Percentual de potássio recuperado pelo arroz, calculado com base no potássio acumulado na parte aérea no RQo.....                                                                                                                                                                                                              | 82 |
| Figura 17. Ajuste linear para o pH do solo (A), teor de Ca no solo (B) e Ca acumulado na parte aérea (C) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete calcinado microgranulado e farelado no RQo.....                                                                                                  | 84 |
| Figura 18. Ajustes lineares para o teor de Mg no solo (A) e Mg acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, no RQo. ....                                                                                                             | 86 |

## LISTA DE TABELAS

### CAPITULO I

|                                                                                                                                                                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Análise física dos solos utilizados .....                                                                                                                                                                                                  | 21 |
| Tabela 2. Análise química dos solos utilizados .....                                                                                                                                                                                                 | 22 |
| Tabela 3. Caracterização física das fontes testadas .....                                                                                                                                                                                            | 22 |
| Tabela 4. Caracterização química das fontes testadas .....                                                                                                                                                                                           | 22 |
| Tabela 5. Tratamentos.....                                                                                                                                                                                                                           | 23 |
| Tabela 6. Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte área (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd ..... | 27 |
| Tabela 7. Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte área (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo ..... | 27 |
| Tabela 8. Contrastes dos tratamentos com aplicação de $80 \text{ mg dm}^{-3}$ de $\text{K}_2\text{O}$ . ....                                                                                                                                         | 20 |
| Tabela 9. Teor de Si no solo e Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd .....                                                      | 32 |
| Tabela 10. Teor de Si no solo e Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo .....                                                     | 33 |
| Tabela 11. Teor de K no solo e K acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd .....                                                       | 35 |
| Tabela 12. Teor de K no solo e K acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo.....                                                        | 35 |
| Tabela 13. Manganês no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd.....                                                                      | 38 |

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 14. Manganês no solo e Mn acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo ..... | 38 |
| Tabela 15. pH, Ca no solo e Ca acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd.....    | 40 |
| Tabela 16. pH, Ca no solo e Ca acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete RQo .....      | 41 |
| Tabela 17. Mg no solo e Mg acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd.....        | 43 |
| Tabela 18. Mg no solo e Mg acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo. ....       | 43 |

## **CAPITULO II**

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Análise física dos solos utilizados .....                                                                                                                                                                                                             | 51 |
| Tabela 2. Análise química dos solos utilizados .....                                                                                                                                                                                                            | 51 |
| Tabela 3. Caracterização física das fontes testadas .....                                                                                                                                                                                                       | 52 |
| Tabela 4. Caracterização química das fontes testadas .....                                                                                                                                                                                                      | 52 |
| Tabela 5. Tratamentos.....                                                                                                                                                                                                                                      | 53 |
| Tabela 6. Número perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd ..... | 56 |
| Tabela 7. Contrastes dos tratamentos com aplicação de $80 \text{ mg dm}^{-3}$ de $\text{K}_2\text{O}$ e $390 \text{ mg dm}^{-3}$ de Si no LVd. ....                                                                                                             | 59 |
| Tabela 8. Teor de Si no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd .....                                                     | 62 |
| Tabela 9. Contrastes dos tratamentos com de aplicação $390 \text{ mg dm}^{-3}$ de Si no LVd .....                                                                                                                                                               | 63 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 10. Teor de K no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd .....                                                          | 65 |
| Tabela 11. Contrastes dos tratamentos com aplicação de 80 mg dm <sup>-3</sup> de K <sub>2</sub> O no LVd. 67                                                                                                                                                          |    |
| Tabela 12. pH, Ca no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd .....                                                                        | 68 |
| Tabela 13. Mg no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd .....                                                                            | 70 |
| Tabela 14. Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte área (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo ..... | 72 |
| Tabela 15. Contrastes dos tratamentos com aplicação de 160 de 80 mg dm <sup>-3</sup> de K <sub>2</sub> O e 390 mg dm <sup>-3</sup> de Si no RQo. ....                                                                                                                 | 75 |
| Tabela 16. Teor de Si no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo.....                                                          | 77 |
| Tabela 17. Contrastes dos tratamentos com aplicação de 390 mg dm <sup>-3</sup> de Si no RQo. .                                                                                                                                                                        | 78 |
| Tabela 18. Teor de K no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo.....                                                           | 79 |
| Tabela 19. Contrastes dos tratamentos com aplicação de 80 mg dm <sup>-3</sup> de K <sub>2</sub> O no RQo. 82                                                                                                                                                          |    |
| Tabela 20. pH, Ca no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo .....                                                                        | 83 |
| Tabela 21. Mg no solo e Mg acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo .....                                                                         | 85 |

## SUMÁRIO

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                | 1  |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                      | 3  |
| 2.1 Arroz: histórico e importância .....                           | 3  |
| 2.2 Adubação e fontes de nutrientes mais utilizadas no arroz ..... | 3  |
| 2.3 Verdete .....                                                  | 5  |
| 2.4 Potássio.....                                                  | 5  |
| 2.4.1 Potássio no Solo.....                                        | 6  |
| 2.4.2 Fontes naturais de Potássio nos solos.....                   | 6  |
| 2.4.3 Formas de Potássio no solo.....                              | 6  |
| 2.4.3.1 Potássio estrutural.....                                   | 7  |
| 2.4.3.2 Potássio não trocável ou fixado.....                       | 7  |
| 2.4.3.3 Potássio trocável.....                                     | 7  |
| 2.4.3.4 Potássio na solução do solo.....                           | 8  |
| 2.4.3.5 Potássio total .....                                       | 8  |
| 2.4.3.6 Outras formas de Potássio.....                             | 8  |
| 2.4.3.6.1 Potássio Precipitado.....                                | 8  |
| 2.4.3.6.2 Potássio na Matéria Orgânica (MO).....                   | 8  |
| 2.5 Silício .....                                                  | 9  |
| 2.5.1 Silício no solo.....                                         | 10 |
| 2.5.2 Silício na planta.....                                       | 11 |
| 2.6 Cálcio, Magnésio e pH .....                                    | 12 |
| 2.8 Cultivar BRS Atalanta .....                                    | 13 |
| 3. REFERENCIAS.....                                                | 14 |

### **CAPÍTULO I** Reatividade e eficiência agrônômica do Verdete em dois tipos de solos no arroz inundado

|                     |    |
|---------------------|----|
| RESUMO:.....        | 18 |
| ABSTRACT.....       | 19 |
| 1. INTRODUÇÃO ..... | 20 |

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2 MATERIAL E MÉTODOS .....                                                                                                            | 21 |
| 2.1 Local dos experimentos .....                                                                                                      | 21 |
| 2.2 Caracterização das fontes .....                                                                                                   | 22 |
| 2.3 Condução dos experimentos .....                                                                                                   | 23 |
| 2.3.1 Delineamento experimental e tratamentos .....                                                                                   | 23 |
| 2.3.2 Semeadura e adubação.....                                                                                                       | 23 |
| 2.3.3 Manejo integrados da cultura.....                                                                                               | 24 |
| 2.4 Avaliações.....                                                                                                                   | 24 |
| 2.4.1 Parte aérea .....                                                                                                               | 24 |
| 2.4.2 Análises de solo .....                                                                                                          | 25 |
| 2.4.3 Índice de eficiência agronômica (IEA).....                                                                                      | 25 |
| 2.4.4 Percentual de recuperado.....                                                                                                   | 25 |
| 2.5 Análises estatísticas.....                                                                                                        | 26 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                                                        | 26 |
| 3.1 Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca dos grãos de arroz (MSG) ..... | 26 |
| 3.2 Índice de eficiência agronômica IEA.....                                                                                          | 31 |
| 3.3 Silício no solo e acumulado.....                                                                                                  | 31 |
| 3.4 Potássio no solo e acumulado .....                                                                                                | 34 |
| 3.5 Manganês no solo e acumulado.....                                                                                                 | 37 |
| 3.6 pH, Cálcio no solo e Acumulado .....                                                                                              | 40 |
| 3.7 Magnésio no solo e acumulado .....                                                                                                | 42 |
| 4 CONCLUSÕES .....                                                                                                                    | 45 |
| 5 REFERENCIAS.....                                                                                                                    | 46 |

## **CAPÍTULO II** Reatividade e eficiência agronômica do verdete calcinado microgranulado e farelado em dois tipos de solos no arroz inundado

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| RESUMO .....                        | 48 |
| ABSTRACT.....                       | 49 |
| 1 INTRODUÇÃO .....                  | 50 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS .....          | 51 |
| 2.1 Local dos experimentos .....    | 51 |
| 2.2 Caracterização das fontes ..... | 52 |

|       |                                                                                                                                      |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3   | <i>Condução dos experimentos</i> .....                                                                                               | 52 |
| 2.3.1 | <i>Delineamento experimental e tratamentos</i> .....                                                                                 | 52 |
| 2.3.2 | <i>Semeadura e adubação</i> .....                                                                                                    | 53 |
| 2.3.3 | <i>Manejo integrado da cultura</i> .....                                                                                             | 54 |
| 2.4   | <i>Avaliações</i> .....                                                                                                              | 54 |
| 2.4.1 | <i>Parte aérea</i> .....                                                                                                             | 54 |
| 2.4.2 | <i>Análises de solo</i> .....                                                                                                        | 54 |
| 2.4.3 | <i>Índice de eficiência agrônômica (IEA)</i> .....                                                                                   | 55 |
| 2.5.4 | <i>Percentual de recuperado</i> .....                                                                                                | 55 |
| 2.6   | <i>Análises estatística</i> .....                                                                                                    | 55 |
| 3     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....                                                                                                  | 56 |
| 3.1   | <b>LATOSSOLOVERMELHO Distrófico (LVd)</b> .....                                                                                      | 56 |
| 3.1.1 | <i>Número perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG)</i> ..... | 56 |
| 3.1.2 | <i>Índice de eficiência agrônômica</i> .....                                                                                         | 60 |
| 3.1.3 | <i>Silício no solo e acumulado</i> .....                                                                                             | 61 |
| 3.1.4 | <i>Potássio no solo e na parte área</i> .....                                                                                        | 64 |
| 3.1.5 | <i>Percentual recuperado de potássio</i> .....                                                                                       | 67 |
| 3.1.6 | <i>pH, Cálcio no solo e na parte área</i> .....                                                                                      | 68 |
| 3.1.7 | <i>Magnésio no solo e na parte área</i> .....                                                                                        | 69 |
| 3.2   | <b>NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (RQo)</b> .....                                                                                     | 71 |
| 3.2.1 | <i>Número perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG)</i> ..... | 71 |
| 3.2.2 | <i>Índice de eficiência agrônômica IEA</i> .....                                                                                     | 75 |
| 3.2.3 | <i>Silício no solo e na parte área</i> .....                                                                                         | 76 |
| 3.2.4 | <i>Potássio no solo e na parte área</i> .....                                                                                        | 79 |
| 3.2.5 | <i>Percentual de potássio recuperado</i> .....                                                                                       | 82 |
| 3.2.6 | <i>pH, Cálcio no solo e na parte área</i> .....                                                                                      | 82 |
| 3.2.7 | <i>Magnésio no solo e na parte área</i> .....                                                                                        | 85 |

## RESUMO

ARRIETA, RAFAEL GÓMEZ. **Reatividade e eficiência agronômica do verdete e verdete calcinado como fertilizantes multinutrientes no arroz inundado.** (2017). 105 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia<sup>1</sup>.

A dependência na importação de fertilizantes potássicos do Brasil tem gerado a necessidade de se encontrar fontes alternativas de potássio (K). São procuradas fontes multinutrientes para culturas de grande importância como o arroz inundado. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência agronômica do Verdete em pó como fonte de K, Si, Mg e Mn, e o Verdete Calcinado microgranulado e farelado como fonte de K, Si, Ca e Mg para o arroz inundado, e em comparação com o cloreto de potássio (KCl), silicato de cálcio (Wollastonita) e sulfato de manganês (MnSO<sub>4</sub>). Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, em um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e um Neossolo Quartzarênio Órtico (RQo). O delineamento experimental foi configurado em blocos randomizados com quatro repetições, com tratamentos em doses crescentes de K<sub>2</sub>O provenientes do Verdete em pó, e do Verdete Calcinado microgranulado e farelado, as quais corresponderam também a doses crescentes de Si. Além desses, foram avaliados tratamentos com fontes padrão de K (KCl), Si (Wollastonita), Mn (MnSO<sub>4</sub>), mais a testemunha sem aplicação de nutrientes. As fontes foram aplicadas 90 dias antes da semeadura do arroz, que foi realizada em vasos contendo oito dm<sup>-3</sup> de solo com umidade inicial de terra fina seca ao ar (TFSA), que foi posteriormente corrigida para, aproximadamente, 80% da capacidade de campo durante a incubação. Foram determinados o índice de eficiência agronômica (IEA) relativo ao KCl e à Wollastonita, e o percentual acumulado de potássio. 75 dias após a semeadura foi avaliado o perfilhamento (Per) e, na colheita, as plantas foram cortadas ao nível do solo, as panículas foram separadas e contadas, procedimento que gerou o resultado de número de panículas (Pan). Todo o material vegetal foi seco em estufa e pesado para determinação da massa seca da parte aérea (MSP) e dos grãos (MSG). Na análise de solo foram determinados o pH e os teores de K, Si, Ca, Mg e Mn. As mesmas determinações, exceto o pH, também foram feitas no material vegetal e, os resultados obtidos multiplicados pela MSP resultaram no acúmulo desses nutrientes. O IEA e o percentual de K recuperado do Verdete em pó, foram superiores no LVd em relação ao RQo. Em ambos os solos, o Pan, a MSP, a MSG, o acúmulo de K, Si, Ca e Mg na parte aérea, bem como o IEA, dos tratamentos com Verdete em pó, não atingiram os patamares observados para os fertilizantes padrões, e, foram superiores nos tratamentos com Verdete Calcinado farelado em relação ao microgranulado com maior acúmulo de K, Si e Ca. Em ambos os solos, o aumento das doses de Verdete em pó gerou decréscimo no teor de Mg no solo e no acúmulo do nutriente na planta, até níveis críticos de deficiência. A aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado diminuiu o pH e o teor de Mg no solo, com destaque para o microgranulado que atuou mais intensamente no incremento da acidez.

**Palavras chave:** Fontes alternativas, Potássio, Silício, *Oriza sativa* L., Wollastonita, KCl, deficiência de Mg.

<sup>1</sup>Comitê Orientador: Hamilton Seron Pereira - UFU (Orientador)

## ABSTRACT

ARRIETA, RAFAEL GÓMEZ. **Reactivity and agronomic efficiency of Verdete and fine-grained calcined Verdete as a multinutrient fertilizer in flooded rice.** (2017). 105 f. Dissertation (MSc in Agronomy / Crop Science) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia1.

Brazil imports a large volume of potassic fertilizers, which has fostered the need to find alternative potassium sources. Multinutrient sources are sought for crops of great importance, such as flooded rice. The objective of the present study was to evaluate the agronomic efficiency of the Verdete powder as a K, Si, Mg and Mn source, fine-grained Verdete as a source for K, Si, Ca and Mg in flooded rice, and compared to the Potassium chloride (KCl), calcium silicate (Wollastonite) and manganese sulphate (MnSO<sub>4</sub>). The greenhouse experiments were conducted in a red Oxisol (LVd) as well as an Ustoxic Quartzipsamment soil (RQo). The experimental design consisted in a randomized block design with four replications, the treatments consisted of increasing K<sub>2</sub>O doses provided by Verdete powder, as well as fine-grained Verdete which also corresponded to Si rates. Besides these, other treatments were used and considered as standard for K (KCl), Si (Wollastonite), Mn (MnSO<sub>4</sub>) and a control without the K<sub>2</sub>O application. The sources were applied 90 days before sowing the rice, which was planted in pots with air dried soil, with humidity elevated to 80% of field capacity during incubation. The agronomic efficiency index was determined (IEA) considering KCl and Wollastonite as well as the percentage of recovered K. 75 days after planting, tillering was evaluated (Per) and, at harvest, plants were cut at the soil level, the panicles were separated and counted, which generated the number of panicles (Pan). All the plant material was oven dried and weighed for shoot dry matter (MSP) and grain dry matter (MSG) determination. Soil analysis determined the soil pH and the K, Si, Ca, Mg and Mn content. The same determinations, except pH, were also made on vegetal material and these results, multiplied by MSP resulted in the accumulation of these nutrients. The IEA and the percentage of K recovered from Verdete powder were higher in LVd than in RQo. In both soils, Pan, MSP, MSG, the K, Si, K and Mg releasing and shoot accumulation, as well as the IEA, of the treatments with Verdete powder did not reach the observed levels for the standard fertilizers and were higher in the treatments with fine-grained Verdete compared to the microgranulate one with greater accumulation of K, Si and Ca. In both soils, increasing Verdete rates resulted in reduction of soil Mg and Mg accumulation for both soils, and reached critical deficiency levels. The application of increasing doses of calcined Verdete decreased the pH and the Mg content in the soil, with emphasis on the fine-grained calcined Verdete, which acted more intensely on the soil acidity.

**Keywords:** Alternative source, Potassium, Silicon, *Oriza sativa* L., Wollastonite, KCl, Mg deficiency.

<sup>1</sup>Supervisor: Hamilton Seron Pereira - UFU (Advisor)

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oriza sativa* L.) é considerado o alimento principal para mais de três bilhões de pessoas. Possui grande valor nutricional, pois contém sais minerais, vitaminas do complexo B, baixo teor de sódio, pouquíssimo teor de gorduras e elevada taxa de digestibilidade e absorção, além de ser altamente energético. Cerca de 95% dos Brasileiros consomem arroz e, mais da metade, pelo menos uma vez por dia. O país além de ser o oitavo produtor mundial com 2,4 milhões de hectares e produções acima de 7 t ha<sup>-1</sup>, também é o primeiro produtor do continente americano (SCIVITTARO, 1997; SOSBAI, 2016; CONAB, 2015).

Todas as plantas precisam de dezessete nutrientes essenciais para seu crescimento e desenvolvimento. O arroz, primeiramente, obtém aqueles encontrados no ar e água: carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H), envolvidos diretamente na fotossíntese e constituem 90% do peso da massa seca, os outros macronutrientes são: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), e os micronutrientes: boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni) são absorvidos da solução do solo (MEURER, 2006).

Os nutrientes são absorvidos pelas plantas como ânions e cátions, onde, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Zn<sup>3+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> ocorrem predominantemente na forma trocável, é interessante notar que os teores destes são facilmente alterados pela calagem, irrigação e acidificação (BIDDSNI et al. 2012).

Os maiores rendimentos na cultura do arroz são atingidos no sistema de inundação controlada, mas a disponibilidade, o aproveitamento e o balanço de alguns nutrientes são afetados pela condição de acidez dos solos brasileiros. Desse modo, a calagem e aplicação de corretivos configura prática essencial para solucionar esses problemas, assim como fornecer Ca, Mg e outros elementos importantes como o Silício (Si) (SCIVITTARO, 1997).

Além dos nutrientes essenciais, o Si é um elemento benéfico que, especialmente em plantas da família *Poacea* (arroz, cana-de-açúcar, milho, etc.), favorece a produtividade por aumento da capacidade fotossintética, incrementa a resistência a pragas e doenças por indução da produção de fenóis que estimulam a síntese de fitoalexinas, reduz a transpiração e acamamento, dentre outros efeitos positivos (KORNDÖRFER et al. 2004).

Para a cultura do arroz, vários estudos têm demonstrado que fontes fornecedoras de Si apresentam interações positivas com fontes de outros nutrientes, como os fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos. De tal maneira, a adição de outros nutrientes e o poder corretivo da acidez do solo permitem aumento no crescimento, na produção e resistência a estresses abióticos e bióticos, e tolerância a altos teores de Al, Fe e Mn trocáveis (RAMOS et al. 2009).

Por conseguinte, o desenvolvimento de fertilizantes alternativos no país, que forneçam Si, K, Ca, Mg e micronutrientes, continua a ser uma necessidade para aumentar a competitividade do agronegócio brasileiro. Nesse sentido, na região do Cedro de Abaeté-MG são encontrados grandes depósitos de Verdete, rocha com alto teor de glauconita, mineral rico em potássio e silício, mas, de muito baixa solubilidade. No entanto, por acidulação e aquecimento, o Verdete resulta em uma fonte efetiva para a fabricação de fertilizantes potássicos e silicatados. Essas novas fontes devem ser testadas em culturas de grande importância como o arroz, em detrimento da dependência do país aos fertilizantes importados, cujos altos preços aumentam os custos de produção (DUARTE, 2013).

Após o exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar o Verdete e Verdete calcinado: o primeiro em pó e o segundo granulado e farelado, como fontes de nutrientes na cultura do arroz inundado.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Arroz: histórico e importância**

Junto com o trigo e o milho, o arroz é uma das plantas mais antigas do mundo, e contribui com quase a metade da ingestão energética da humanidade, além de ser a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. Se presume que o local de origem do arroz seja o sudeste asiático entre China e Índia, provavelmente foi a primeira planta cultivada neste continente (FLANDRIN; MONTANARI, 1998).

No Brasil, a produção de arroz começou após o século XVI, em pequenas lavouras na região do Nordeste, e desde a época colonial, o cultivo apresenta grande importância social, política e econômica (PEREIRA, 2002). No ano de 1904, se reportou a primeira lavoura irrigada de tamanho empresarial no município de Pelotas Rio grande do Sul- RS (CONAB, 2015). Atualmente, o cultivo se concentra na região sul do país, onde o estado do Rio Grande do Sul se destaca como o maior produtor com mais de 1 milhão de hectares, equivalentes a 70% do total brasileiro (DA COSTA e NETTO, 2012).

A produção mundial do cereal supera o valor de 475 milhões de toneladas, das quais mais de 10 milhões de toneladas de grãos são produzidas no Brasil (USDA/FAS, 2015, citado por CONAB, 2015). O consumo do arroz em países asiáticos em vias de desenvolvimento é bastante alto, em Bangladesh e Vietnã vai de até 200 kg per capita anual, já no Brasil está entorno de 58 kg. O Brasil é o principal produtor e consumidor de arroz na América Latina e o nono no mundo, fato que justifica a importância na pesquisa sobre esta cultura no país.

### **2.2 Adubação e fontes de nutrientes mais utilizadas no arroz**

Nos solos alagados ocorrem processos químicos, físicos e biológicos que facilitam a absorção de, principalmente, P, K e Ca. No arroz, a aplicação N e K deve ser parcelada, assim, quando feita na semeadura em solo seco é recomendada a aplicação de uma pequena parte na semeadura e o restante em cobertura (SCIVITTARO, 2007). Quando o sistema é pré-germinado, se aplicadas fontes nítricas ( $\text{NO}_3^-$ ) na semeadura, grande parte do nitrogênio desaparece em poucos dias pela nitrificação (CANTARELLA, 2007). Assim, as formas amoniacais (sulfato de amônio) e amídicas (ureia, a mais empregada) são ideais para reduzir as perdas (SCIVITTARO, 2007).

A disponibilidade do P em solos alagados aumenta, por isso a resposta da aplicação de fontes de P no arroz não é muito alta. Os fosfatos solúveis (superfosfato triplo e superfosfato simples) são ideais para o fornecimento de fósforo no arroz, e além de fornecer P, aportam N com eficiência agrônômica semelhante à ureia (SCIVITTARO, 2007).

O alagamento aumenta a disponibilidade de K no solo, por isso, nas pesquisas de nutrição potássica deve-se trabalhar com solos de baixo teor do elemento para obter respostas. No arroz, o KCl, por ser a fonte mais barata de K, é a mais utilizada. A produção de KCl no Brasil supre 9% da demanda nacional, por isso grande volume é importado (90%). Este fertilizante contém de 58 a 62% de  $K_2O$  e 47% de Cl. Pelo alto Cl, apresenta um alto índice salino (116,3) é interessante ressaltar que o Cl passa ser tóxico para algumas culturas (batata, fumo e abacaxi) (ERNANI et al. 2007a).

O ânion  $Cl^-$  é absorvido com rapidez pelas raízes e apresenta alta mobilidade no solo, é necessário para a fotólise da água, porém, em concentrações muito baixas, o  $Cl^-$  proveniente da água de irrigação é suficiente, da chuva ou dos adubos, etc., assim a deficiência do elemento não é frequente nas grandes culturas (MALAVOLTA et al. 1997).

Segundo Echer et al. (2009) culturas adubadas com doses elevadas de KCl podem evidenciar altos acúmulos de Cl nas folhas, prejudicando, desta forma, importantes processos metabólicos. Os efeitos nocivos do Cl são mais frequentes que os positivos, pois altos níveis do elemento no solo geram salinidade, que acaba em estresse hídrico para as plantas. Assim, um alto teor de Cl afeta negativamente as células diretamente nas membranas celulares e nos processos enzimáticos (CRUZ et al. 2006).

O alagamento também aumenta o pH do solo por favorecer os processos de redução, isto é conhecido como “auto calagem”, que pode dispensar a correção com calcários. Se a semeadura é feita em solos secos, a aplicação de calcário pode favorecer o desenvolvimento das plantas nos estágios iniciais antes do alagamento. No entanto, em solos deficientes de Ca e Mg, é recomendada a aplicação de calcários para o fornecimento desses nutrientes (SCIVITTARO, 2007).

## 2.3 Verdete

O Verdete é um silicato potássico encontrado na região de Cedro de Abaeté, minas gerais. Corresponde a uma rocha composta por metassedimentos pelíticos, formados por quartzo, feldspato potássico, albita, mica branca, e rica em glauconita (25 %) onde o cátion interlamelar predominante é o  $K^+$ . Sendo assim, a glauconita confere o alto teor de K total do Verdete, que varia de 7 a 14 % de  $K_2O$ . O Verdete apresenta uma coloração verde, dada pela presença de ferro. As principais fontes de potássio da crosta terrestre são os feldspatos potássicos, micas, leucitas, ilita e glauconita, assim, rochas com altos teores desses minerais, podem tornar-se fontes alternativas de potássio para a aplicação direta no solo como fertilizantes potássicos de lenta liberação (PIZA et al. 2009; SILVA et al. 2012).

## 2.4 Potássio

No arroz irrigado, o K é altamente demandado, sendo que para produzir uma tonelada de grãos, são requeridos 34 kg de K (FAGUEIRA, 1995). O K é o cátion mais abundante nas plantas, e é absorvido em grandes quantidades pelas raízes. Esse nutriente não faz parte da nenhuma estrutura ou molécula orgânica da planta, no solo encontra-se como cátion livre ou adsorvido (LINDHAUER, 1985; citados por MEURER. 2006).

A alta mobilidade do K explica suas funções e características, além de atuar como o principal cátion na neutralização de cargas e como o componente inorgânico osmótico mais importante (CLARKSON e HANSON, 1980; citados por MEURER. 2006). A alta concentração de K no citoplasma é responsável pela manutenção do pH entre 7 e 8 nas células e tecidos (MENGEL e KIRKBY, 1987). Em plantas deficientes de K o pH pode cair para menos de 7, e muitos processos poderão ser paralisados.

Em resumo, sua atividade na planta é descrita pelo seguintes processos fisiológicos: ativa mais de 60 sistemas enzimáticos (sintetases, oxidoreductases, transferases) atua na fotossíntese; favorece um alto estado de energia (necessária para produção ATP); mantém o turgor das células; regula a abertura e fechamento dos estômatos; promove a absorção de água; regula a translocação dos nutrientes; favorece o

transporte e armazenamento de carboidratos; incrementa a absorção de N e a síntese de proteínas; e participa na síntese de amido nas folhas (MEURER, 2006).

Quando a planta tem adequado suprimento de K os efeitos positivos por suas múltiplas funções são: incremento no crescimento de raízes; resistência às secas e às baixas temperaturas; resistência a pragas; resistência ao acamamento das plantas; e incremento na nodulação das leguminosas (USHERWOOD, 1985; KOO, 1985; MENGEL, 1997; citados por MEURER, 2006).

#### **2.4.1 Potássio no Solo**

O K é um dos nutrientes mais abundantes dos solos, atingindo concentrações de 0,3 a 30 g kg<sup>-1</sup>, as quais são menores nos solos de regiões tropicais (0,9 a 19 g kg<sup>-1</sup>). As rochas ígneas granitos e sienitos contém as maiores concentrações 46 a 54 g kg<sup>-1</sup> e também o basalto com 7 g kg<sup>-1</sup>. 98% do K no solo encontra-se nas estruturas dos minerais primários e secundários, assim só uma pequena fração se encontra ligado as cargas elétricas negativas do solo, a qual corresponde à forma trocável e ao K na solução do solo (ERNANI, 2007b).

#### **2.4.2 Fontes naturais de Potássio nos solos**

Principalmente os filossilicatos e tectossilicatos são os minerais considerados como as fontes principais de K, pois contém concentrações entre 50 e 150 g kg<sup>-1</sup>, encontrados nas frações areia e silte. Dentro desses grupos estão minerais primários (micas, feldspatos e feldespatoídes) e minerais secundários (ilita, vermiculita, montmorilonita e nos argilominerais interestratificados) que pelos processos de intemperismo liberarão o K<sup>+</sup> (ERNANI, 2007b).

#### **2.4.3 Formas de Potássio no solo**

Apresentadas na ordem de menor a maior disponibilidade do elemento para as plantas:

#### **2.4.3.1 Potássio estrutural**

Faz parte dos minerais primários ou secundários. Os processos de intemperismo lento, fazem que o K seja liberado em pequenas quantidades insuficientes para suprir a demanda das plantas, especialmente de ciclo curto (ERNANI, 2007b).

#### **2.4.3.2 Potássio não trocável ou fixado**

Está adsorvido nas entre camadas de argilominerais 2:1, vermiculita, por exemplo, fazendo parte da estrutura dos minerais primários, como feldspatos de  $K^+$ , micas e outros fontes (GREENLAND e MOTT, 1978; SPOSITO, 1984; citados por ERNANI, 2007b). Poderá estar disponível a médio ou longo prazo. Nos solos intemperados encontrados no Brasil, esta forma não-trocável é capaz de fornecer quantidades significativas deste nutriente para as plantas (OLIVEIRA et al. 1971; ROSOLEM et al. 1993; SILVA et al. 1995; citados por ERNANI, 2007b).

Kuchembuch (1985) (citado por ERNANI, 2007b) verificou, em solos deficientes de K, que a forma não-trocável contribui com 85% do total absorvido por plantas de Colza, e a baixa concentração de K na solução do solo provocou liberação do elemento desde a mica presente na rizosfera. O provável mecanismo que levou essa transformação foi a excreção de  $H^+$ , que diminuiu o pH da rizosfera causando dissolução do mineral.

Kuchembuch (1985) afirmou que a contribuição de K não-trocável no suprimento do K às raízes, é frequente pela relação pouco significativa encontrada entre os resultados das análises de solo e o rendimento das plantas, e entre estas e as adubações potássicas (ERNANI, 2007b).

#### **2.4.3.3 Potássio trocável**

Aquele ligado as cargas superficiais negativas em minerais silicatados tipo 2:1, e também nas frações sólidas orgânicas (enlaces, adsorção eletrostáticos) e inorgânicas do solo (argilas silicatadas, óxidos e hidróxidos). Para a nutrição vegetal é a forma de reserva

imediate, já que restitui rapidamente o K absorvido da solução ou perdido na lixiviação (SPOSITO, 1984; SPARKS e HUANG, 1985; citados por ERNANI, 2007b).

#### **2.4.3.4 Potássio na solução do solo**

O K na solução pode variar de 1 a 50 mg L<sup>-1</sup> em solos fertilizados, segundo as características químicas e mineralógicas do solo, podendo ser esgotada a quantidade de K em poucas horas ou dias, caso não seja efetuada a reposição pela fase sólida, principalmente do K trocável. Além da quantidade, a velocidade de reposição é também fundamental para a nutrição. Solos com alto teor de K trocável, pelo rápido equilíbrio com o K<sup>+</sup> da solução, mantém alto gradiente de concentração, o que favorece a difusão do K à superfície radicular (ERNANI, 2007b)

#### **2.4.3.5 Potássio total**

Simplemente consiste na somatória de todas as formas do K<sup>+</sup> presentes no solo, variando segundo o material de origem, composição mineralógica e grau de intemperismo. Determinada por meio do uso de ácido fluorídrico (HF) e posterior diluição dos estratos com ácido clorídrico (HCl) (MELO e ALLEONI, 2009).

#### **2.4.3.6 Outras formas de Potássio**

##### **2.4.3.6.1 Potássio Precipitado**

Os precipitados são a combinação de duas ou mais entidades químicas. Precisam de dissolução para ser absorvidos pelas plantas. Sua formação depende do pH e da constante de dissolução específica de cada composto. Para o K é pouco expressada, a diferença de P, Ca, Al, Fe, Mn, etc. (MELO e ALLEONI, 2009).

##### **2.4.3.6.2 Potássio na Matéria Orgânica (MO)**

O teor de K na MO do solo é relativamente pequeno quando comparado com N e P, não integrando nenhum composto orgânico estável, porém, ele é lavado do material orgânico logo após a morte das células. Silva e Ritchey (1982) (citado por ERNANI,

2007b) verificaram que o K foi lavado da parte aérea do milho pela chuva tão logo após as plantas entraram em senescência. A decomposição das frações orgânicas mais estáveis do solo, constituídas pelas substâncias húmicas e pelos resíduos parcialmente decompostos, não contribui, portanto, de modo importante para o suprimento de K às plantas (MELO e ALLEONI, 2009).

## 2.5 Silício

O Si, depois do oxigênio, é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, mas, existem solos em regiões do Cerrado muito carentes de Si (LATOSSOLOS e NEOSSOLOS) com teor menor de  $9,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si (KORNDÖRFER et al. 1999), são incapazes de fornecer o elemento nas quantidades necessárias para gramíneas (RAIJ; CAMARGO et al. 1973). A concentração de Si na solução do solo é influenciada pela composição mineralógica e textural dos solos, o processo de ciclagem de nutrientes, acidez do solo e concentração de íons na solução (MCKEAGUE et al. 1963).

A aplicação de silicatos de cálcio e magnésio ao solo é uma alternativa para incrementar o teor de Si no solo, corrigir a acidez do solo, fornece cálcio e magnésio, e assim conseguir aumentos em produtividade em gramíneas como arroz, cana-de-açúcar, milho, aveia, trigo, sorgo, milheto, braquiárias, etc. No entanto, dicotiledôneas (soja, feijão, morango, alface, pepino, etc.) tem mostrado efeitos benéficos como aumento da produção e resistência à doenças, pela aplicação fontes silicatadas como a Wollastonita (KORNDÖRFER, 2006).

O nível crítico de Si para arroz, estima-se ao redor de  $20 \text{ mg dm}^{-3}$  de solo, sendo a única cultura que apresenta este parâmetro (KORNDÖRFER et al. 2001).

A Wollastonita é classificada como um metassilicato de cálcio natural ( $\text{CaSiO}_3$ ) cujo elevado grau de pureza permite utilizá-la mundialmente como produto padrão nos estudos com Si. O uso dessa fonte assim como os agregados siderúrgicos, xisto e termofosfato, têm mostrado incrementos no pH do solo e nos teores de Ca e Mg trocáveis, por efeito corretivo da acidez, além de reduzir o Alumínio fitotóxico (CARVALHO-PUPATTO et al. 2003, PEREIRA et al. 2003). Korndörfer et al. (1999) indica que a Wollastonita no arroz em diferentes solos, respondeu favoravelmente no incremento do pH, Ca trocável e Si solúvel no solo, além de diminuir a fitotoxidez por Fe e aumentar o

rendimento dos grãos. Silva (2002) (citado por SILVA, 2011) indicou que em um LATOSSOLO VERMELHO após 56 dias da aplicação de 800 kg ha<sup>-1</sup> de Wollastonita, os teores de Si (extraído com ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup>) aumentaram de 13,4 para 39,3 mg dm<sup>-3</sup> assim, a Wollastonita tem alta capacidade de liberar Si no solo.

No Brasil, Japão, Estados Unidos, Austrália e África do Sul, o Si é utilizado como fertilizante em arroz e cana-de-açúcar, principalmente na forma de silicato de cálcio e magnésio proveniente da produção de fósforo elementar. Devido a importância do Si para culturas como o arroz, no ano 2004 o elemento foi catalogado como benéfico para as plantas na legislação brasileira para a Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos, de tal forma que na atualidade pode ser comercializado isoladamente ou em mistura com outros nutrientes (RODRIGUEZ et al. 2011).

### **2.5.1 Silício no solo**

No solo o Si é encontrado principalmente como ácido monossilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), forma que pode ser absorvida pelas plantas (RAVEN, 1983). O ácido silícico no solo é influenciado pela decomposição da matéria orgânica, dissociação do ácido silícico polimérico, liberação do Si dos óxidos de Fe e Al, dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos e pela adição de fertilizantes silicatados. Os principais drenos do Si no solo são: precipitação do Si em solução formando minerais, polimerização do H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al e a absorção pelas plantas (LIMA FILHO et al. 1999). A solubilidade dos materiais silicatados depende da temperatura e pH do solo, tamanho da partícula, composição química e presença de rachaduras (RAIJ; CAMARGO, 1973).

Segundo Rodriguez et al. (2011) os ânions silicatos aumentam o pH do solo diminuindo a atividade dos elementos tóxicos no solo, precipitando-os em compostos insolúveis ou dando lugar à formação de polímeros não disponíveis para as plantas. Em solos com saturação maior a 25% por Al, com a aplicação de silicatos se minimiza sua toxicidade, e se aumenta a resistência das plantas ao excesso do elemento (EMBRAPA, 2007).

### 2.5.2 Silício na planta

As plantas absorvem o Si na forma neutra como ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ), de forma passiva ou ativa, por meio de transportadores de membrana específicos; o transporte desse ácido é via xilema sendo regulado pela transpiração ou por transporte ativo. A absorção do Si pode diferir segundo a espécie e a cultivar.

Nas gramíneas o Si é absorvido de forma passiva, por fluxo de massa, em processos não seletivos (YASSUDA, 1989). Já em arroz, Ma et al. (2006) indicam o gene 1 (*Lsi1*) que controla a acumulação de Si, o qual está localizado sobre a membrana plasmática e se suprimido há diminuição da absorção do elemento. Além disso, a expressão do gene mostrou atividade de transporte de Si. Deren et al. (1994) observou que diferentes genótipos de arroz diferem na absorção do elemento.

Segundo Oliveira (2002) o Si é concentrado nos tecidos de suporte, do caule e das folhas, com pequenas quantidades nos grãos, sendo muito menor na raiz em comparação com os caules e folhas das gramíneas.

Se tem evidenciado que o arroz e a cana-de-açúcar em solos com altos teores de Si solúvel, acumulam alta quantidade do elemento na parte aérea e geralmente aumentam a produtividade. Assim, em solos com teor de Si menor que  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  (determinado com ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) é recomendado adubar com fontes silicatadas para obter altos rendimentos; por outro lado em solos com mais de  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  não é necessária a adubação silicatada (KORNDÖRFER, 2006).

Epstein (1999) indica que a deposição de Si junto à cutícula das folhas reduz os efeitos nocivos de estresse biótico ou abiótico, assim, o acúmulo do elemento é maior em tecidos onde é alta a exposição a perdas de água, dando lugar à formação de fitólitos ou depósitos amorfos de Si, que reduzem as taxas de transpiração além de tornar as células mais resistentes contra ataques de patógenos e/ou pragas (DAYANANDAM et. al. 1983).

No arroz, como demonstrado por vários autores (PEREIRA et al. 2003; KORNDÖRFER et al. 1999) tem sido evidenciado aumento no crescimento e produção de gramíneas em solos com altos teores de Al, Fe, e Mn, interações positivas com fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos, incremento na resistência a doenças,

pragas, seca, salinidade e acamamento, quando aplicado Si no solo (SAVANT et al. 1997; SANTOS et al., 2003; MELO et al., 2003; DANTAS JUNIOR et al. 2011).

## 2.6 Cálcio, Magnésio e pH

O cálcio e o magnésio estão de quarto e sexto lugar na ordem de acúmulo de nutrientes no arroz, sendo que para produzir uma tonelada de grão são necessário 5,3 kg de Ca e 3,2 kg de Mg (FAGUERIA, 1995).

O  $\text{Ca}^{2+}$  é a forma em que o cálcio é absorvido pelas plantas, porém sua mobilidade no floema é muito baixa. Como faz parte da parede celular facilita a absorção de água por conferir solidez na estrutura (MARSCHNER, 2012). Os sintomas de deficiência de Ca iniciam nas folhas mais novas, e quando a deficiência é forte as folhas terminais morrem. À medida que a deficiência persiste, as folhas mais velhas desenvolvem uma necrose marrom-avermelhada nas nervuras (RAIJ, 2011).

O magnésio absorvido como  $\text{Mg}^{2+}$ , é constituinte principal da molécula de clorofila, chave para a fotossíntese; também está envolvido no metabolismo do fosfato, na respiração e na ativação enzimática. A deficiência de Mg inicia-se nas folhas mais velhas, mostrando uma coloração amarelada e, posteriormente, a área entre as nervuras da folha fica alaranjada, acabando em folhas totalmente secas quando a deficiência se dissemina por toda a lâmina (RAIJ, 2011).

Segundo Sousa et al. (2006) ainda que o Ca e Mg não participem das reações de oxidorredução em solos alagados, aumentam sua solubilidade pelo deslocamento para a solução dado pelo Mn e Fe, este último ocupa proporção considerável dos sítios de troca. Outros trabalhos também indicam, que o alagamento promove aumento de pH em decorrência das reações de oxidorredução que consomem íons  $\text{H}^+$ , ao passo que o aumento dos teores de Ca e Mg da solução é dado pelo deslocamento das formas trocáveis do elemento por  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$  (VAHL, 1999; SOUSA et al. 2002). Por outra parte, Valh (1991) observou que em solos inundados os teores de Ca na solução aumentou de 1,3 a 8 vezes em comparação com os mesmos solos sem alagamento.

## 2.7 Manganês

O arroz inundado precisa 788 g de Mn para produzir uma tonelada de grãos, sendo o segundo micronutriente mais requerido depois do Fe (FAGERIA, 1995). Nos solos do Cerrado, os teores de Mn disponível são muito baixos. Sendo que  $5,0 \text{ mg dm}^{-3}$  (extrator Mehlich-1) corresponde ao nível crítico no solo, a deficiência desse nutriente pode ocorrer em aproximadamente 30% dos solos da região, principalmente no estados de Goiás, Minas Gerais e no Distrito Federal (PEREIRA et al. 2011).

Segundo Sanzonowicz (1995) em mais de 10% das lavouras do Cerrado é evidenciada a deficiência do elemento. Ademais a deficiência, também ocorre o contrário, ou seja, sintomas de toxidez de Mn, evidenciados em várias culturas de diferentes regiões produtoras, pois os solos do Cerrado que em sua maioria são classificados como Latossolos, se caracterizam por sua alta acidez e alta concentração de sesquióxidos de Fe e Al que favorecem a presença de altos teores de Mn disponível, tóxico para muitas espécies (ABREU et al. 1996).

## 2.8 Cultivar BRS Atalanta

Com o enfoque da utilização racional da água, Embrapa Clima Temperado tem trabalhado no desenvolvimento de cultivares de arroz de ciclo super precoce, como a BRS Atalanta utilizada na presente pesquisa. A mesma se destaca por que com respeito as cultivares precoces ou de ciclo médio habituais, permite reduzir de 10 a 20 ou de 20 a 30 dias de irrigação. Seu ciclo, desde emergência até maturação completa dos grãos, ocorre em aproximadamente 100 dias (FAGUNDES, 2007).

Os rendimentos da BRS Atalanta em diversas regiões orízícolas do Sul do país, tem superado as 10 toneladas por hectare, os quais afastam o paradigma de que cultivares de ciclo longo tem maior potencial produtivo que aqueles de ciclo mais curto. Assim, por ser super precoce, ter bom potencial produtivo, resistência media ao fungo *Pyricularia oryzae* e à praga *Oryzophagus oryzae*, tem sido recomendada por permitir o uso mais racional da água e por requerer menos aplicação de agroquímicos (FAGUNDES, 2007 e MAGALHAES, 2016).

### 3. REFERENCIAS

- ABREU, C. A.; VAN RAIJ, B.; TANAKA, R. T. **Fontes de manganês para a soja e seus efeitos na análise do solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 20, n. 1, p. 91-97, 1996.
- BIDDSNI, C. A.; CASTILHOS, D. D.; MEURER, E. J.; TADESCO, M. J. **Fundamentos de química do solo.** Ed 5ª. Porto Alegre. 280p. 2012.
- CANTARELLA, H. **Nitrogênio, Capítulo VII**, em: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. D.; FONTES, R. LF.; CANTARUTTI, R. B. e NEVES, J. C. L. SBCS. Viçosa, 2007. Fertilidade do solo, 1017p.
- CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BULL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; MAUAD, M.; SILVA, R. H. **Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz.** Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, nov. 2003.
- CONAB - companhia nacional de abastecimento. **A cultura do arroz.** Superintendência de Informações do Agronegócio - Sua inf. Brasília-DF. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>. 2015. 180p.
- CRUZ, J. L.; PELACANI, C. R.; COELHO, E. F.; CALDAS, R. C.; ALMEIDA, A. Q.; QUEIROZ, J. R. **Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo.** Bragantina, Campinas, v.65, n.2, p.275-284, 2006.
- DA COSTA, A.B; NETTO, C. G. A. **O Instituto Rio Grandense do Arroz.** Revista Brasileira de Inovação, Campinas (SP), 11 (2), p.467-480, julho/dezembro 2012.
- DANTAS JUNIOR E. E.; L. H. G. CHAVES; F. A. M. da COSTA; G. H KORNDÖRFER. **Desenvolvimento de milho irrigado e adubado com silicato de cálcio e magnésio.** Revista brasileira de agricultura irrigada, v. 5, p. 337, 2011.
- DAYANANDAM, P., KAUFMAN, P. B., FRAKIN, C. I. **Detection of silica in plants.** Amer. J. Bot., v. 70, p.1079-1084. 1983
- DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. **Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols.** Crop Science, New York, v.34, p.733-37, 1994.
- DUARTE, I. D. **Verdete Calcinado: fertilizante alternativo para a agricultura brasileira.** 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Uberlândia.
- ECHER, F. R. **Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro. I: atributos biométricos e componentes de produção.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2007, Foz do Iguaçu. Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados. **Anais...** Campina grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1938-1943.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUARIA (Embrapa). **Informações técnicas sobre o arroz de terras altas: Estados de Mato Grosso e Rondônia, safra 2007/2008.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2007.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G. H; KORNDÖRFER, G.H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001, 403 p.

ERNANI, P. R. **Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável**. R. Bras. Ci. Solo, Viçosa v.31, p.393-402, 2007a.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A. e SANTOS, F. C. **Potássio, Capítulo IX**, em: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. D.; FONTES, R. LF.; CANTARUTTI, R. B. e NEVES, J. C. L. SBCS. Viçosa, 2007b. Fertilidade do solo, 1017p.

FAGUNDES, P. R. **BRS Atalanta: Alternativa para o uso racional da água nas lavouras de arroz irrigado do RS**. Circular 60. EMBRAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Pelotas - RS. 2007. 6p.

FLANDRIN, J. L.; MONTANARI, M. (Dir.). **História da alimentação**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES V. A.; CORRÊA G. F.; SNYNDER G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz sequeiro. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, V. 23, n. 3, p. 623-629, jul/set. 1999.

KORNDÖRFER, G. H. **Apostila potássio**. Universidade federal de Uberlândia - ICIAG. 2006. Em: <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/ag524/apostila.htm>.

KORNDÖRFER, G.H.; SNYDER, G.H.; ULLOA, M; POWEL, G. & DATNOFF, L.E. **Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production**. J. Plant Nut., 24:1071-1084, 2001.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G; TSAI, M. **Silício pode aumentar a resistência de plantas a doenças**. Boletim informativo do Grupo de Estudos “Luiz de Queiroz”, n. 87, p. 8-12, 1999. (Encarte técnico).

MA, J. F., TAMAI, K., YAMAJI, N., MITANI, N., KONISHI, S., KATSUHARA, M., ISHIGURO M., YOSHIKO, M., YANO, M., **A silicon transporter in rice**. Nature, New York v.440, p. 688-691, 2006.

MA, J.F.; MIYAKE, Y. & TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plants**. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDÖRFER, G.H. Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier, p.17-39, 2001.

MAGALHÃES, A. M; FAGUNDES, P. R. Agência Embrapa de Informação Tecnológica-ageitec. **Árvore do conhecimento arroz**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Consulta setembro de 2016.

MALAVOLTA, E. e VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1997.319p.

MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**.3ª ed. Australia: Elsevier, 2012, 651p.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. **Silica in soils**. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 15, p. 339-397, 1963.

- MELO S. P.; G.H. KORNDORFER; C.M. KORNDÖRFER; R.M.Q. LANA; D.G. SANTANA. **Silicon accumulation and water deficit tolerance in Brachiaria grasses.** Scientia Agricola, v.60, n.4, p.755-759, 2003.
- MELO, V.F.; ALLEONI, L.F. SBCS, Viçosa, 2009. **Química e mineralogia do solo**, Parte I, 695p.
- MENGEL K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition.** 5ª ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849 p.
- MEURER, E. J. SBCS, Viçosa, 2006, **Nutrição mineral de plantas.** 432p.
- OLIVEIRA, L. A. & CASTRO, N. M. **Ocorrência de Sílica nas folhas de curatella americana L. e de Davilla elliptica St. Hil.** Rev. Horizonte Científico, 2002.
- PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C., KONDÖRFER, G. H. **Comportamento de diferentes fontes de Silício no solo e na cultura do tomateiro.** Revista Brasileira de ciência do solo, Lavras, n.27, p. 101-108, 2003.
- PEREIRA, J. A. **Cultura do arroz no Brasil subsídios para sua história.** Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Ministério de agricultura, pecuária e abastecimento. Teresina 2002. 226p.
- PIZA, P. A. DE T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Termo-Potássio do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio.** XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM. 2009. p. 192-198.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes.** Piracicaba-SP, International Plant Nutrition Institute, 2011, 420p.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. **Sílica solúvel em solos.** Bragantia, Campinas, v.32, n.11, p.223-231, 1973.
- RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER G. H; QUEIROZ, A. A. **Avaliação de fontes de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea.** Biosci. J., Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 10 - 16. 2009.
- RAVEN, J.A. **The transport and function of silicon in plants.** Biologycal Review, v.58, p. 179-207, 1983.
- RODRIGUEZ, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. **Silício: um elemento importante e benéfico para as plantas.** Informações agronômicas 134. 2011. 7p.
- SANTOS G. R.; G. H. KORNDÖRFER; J. C. D. REIS FILHO; J. M. PELÚZIO. **Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e sobre a produtividade do arroz irrigado por inundação.** Revista Ceres, v.50, p. 1-8. 2003.
- SANZONOWICZ, C. **Deficiência de manganês em solos dos cerrados.** In: YAMADA, T., ed. Informações agronômicas. Piracicaba, POTAFOS,1995. p.7. (Boletim, 71)
- SAVANT, N. K.; SNYDER, G. D.; DATNOFF, L. E. Silicon in management and sustainable rice production. **Advances in Agronomy**, London, v. 58, p. 151-199, 1997.
- SCIVITTARO, W. B. **Adubação e Calagem para o Arroz Irrigado no Rio Grande do Sul.** Embrapa, circular técnica 62. 8p. 2007.

SILVA, A. A. S.; MEDEIROS, M. E.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S. **Verdete de Cedro do Abaeté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO**. Revista Matéria. Rio de Janeiro, v. 17 n. 3, p. 1061-1073, 2012.

SILVA, F. DE A. S. E. e AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SOUSA, R. O.; BOHNEN, H. & MEURER, E. J. **Composição da solução de um solo alagado conforme a profundidade e o tempo de alagamento, utilizando novo método de coleta**. R. Bras. Ci. Solo, 26:343-348, 2002.

SOUSA, R. O.; CAMARGO, F. A. O. & VAHL, L. C. **Solos alagados (Reações de Redox)**. In: MEURER, E. J., org. Fundamentos de química do solo. 3.ed. Porto Alegre, Evangraf, 2006. p.185-211.

VAHL, L. C. **Toxidez de ferro em genótipos de arroz irrigado por alagamento**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 173p. (Tese de Doutorado).

YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado**. 1989. 62f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

## CAPÍTULO I

### RESUMO:

#### **Reatividade e eficiência agronômica do Verdete em dois tipos de solos no arroz inundado**

O arroz inundado é uma cultura que representa grande importância para o Brasil, assim a pesquisa com novos fertilizantes, eficientes para o sistema produtivo torna-se chave para manter altas produtividades. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência agronômica do Verdete como fonte de K, Si, Mg e Mn para a cultura do arroz inundado, comparado com KCl, Wollastonita e Sulfato de Manganês ( $\text{MnSO}_4$ ). Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, em dois solos diferentes, sendo um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) e um NEOSSOLO QUARTZARÊNIO Órtico (RQo). O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos por quatro doses de  $\text{K}_2\text{O}$  provenientes do Verdete (5, 20, 40 e 80  $\text{mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) as quais corresponderam também a doses crescentes de Si (270, 1080, 2160, e 4320  $\text{mg dm}^{-3}$  de Si). Além desses, foram avaliados quatro tratamentos de fontes padrão, sendo 80  $\text{mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (KCl), 270  $\text{mg dm}^{-3}$  de Si (Wollastonita) + 80  $\text{mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (KCl), e 2  $\text{mg dm}^{-3}$  de Mn ( $\text{MnSO}_4$ ) + 80  $\text{mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (KCl), mais a testemunha sem aplicação de  $\text{K}_2\text{O}$ , totalizando assim oito tratamentos. As fontes foram aplicadas 90 dias antes da semeadura do arroz, realizada em vasos contendo oito kg de solo com umidade inicial de terra fina seca ao ar (TFSA), a qual foi posteriormente corrigida para, aproximadamente, 80% da capacidade de campo durante a incubação. Aos 75 dias após a semeadura foi avaliado o perfilhamento (Per) e na colheita as plantas foram cortadas ao nível do solo, as panículas foram separadas e contadas, gerando o resultado de número de panículas (Pan). Todo o material vegetal foi seco em estufa e pesado para determinação da massa seca da parte aérea (MSP) e dos grãos (MSG). Na análise de solo foram determinados o pH e os teores de K, Si, Ca, Mg e Mn. As mesmas determinações, exceto o pH, também foram feitas no material vegetal e, os resultados obtidos multiplicados pela MSP resultaram no acúmulo desses nutrientes. Em ambos os solos, o Pan, a MSP, a MSG, a liberação e o acúmulo de K, Si, Ca e Mg na parte aérea, dos tratamentos com Verdete, não atingiu os patamares observados para os fertilizantes padrões. Para ambos os solos, o aumento das doses de Verdete gerou decréscimo no teor de Mg no solo e no acúmulo do nutriente na planta, até níveis críticos de deficiência. O índice de eficiência agronômica (IEA) e o porcentual de K recuperado do Verdete foram superiores no solo LVd em relação ao RQo.

**Palavras chave:** *Oriza sativa* L., Wollastonita, KCl, sulfato de manganês, deficiência de Mg.

## ABSTRACT

### Reactivity and agronomic efficiency of Verdete in two types of soils in flooded rice

Flooded rice is a crop that represents great importance for Brazil, so researches about new fertilizers with efficiency for the production system becomes a key to maintain high yields. The objective of the present study was to evaluate the agronomic efficiency of Verdete as a Si, K, Mg and Mn source for flooded rice, compared to KCl, Wollastonite and manganese sulphate ( $\text{MnSO}_4$ ). Two greenhouse experiments were conducted, each one implemented with a different type of soil, Oxysol Red (LVd) and a Ustoxic Quartzipsamment (RQo). The experimental design was a randomized complete block design with four replications, being the treatments consisted of  $\text{K}_2\text{O}$  rates coming from Verdete (5, 20, 40 e  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) that corresponded also to four Si rates (270, 1080, 2160, e  $4320 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si). Besides these, other four treatments were used and considered as standard, being  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  of  $\text{K}_2\text{O}$  (KCl),  $270 \text{ mg dm}^{-3}$  of Si (Wollastonite) +  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  of  $\text{K}_2\text{O}$  (KCl), and  $2 \text{ mg dm}^{-3}$  of Mn ( $\text{MnSO}_4$ ) +  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  of  $\text{K}_2\text{O}$  (KCl), and a control without  $\text{K}_2\text{O}$  application, totalizing eight treatments. The sources were applied 90 days before rice sowing. Rice was planted in pots containing eight kg of air dried soil, being this humidity elevated to 80% of field capacity during incubation. 75 days after planting, tillering was evaluated (Per) and at the harvest, plants were cut at the soil level, the panicles were separated and counted, generating the number of panicles (Pan) result. All the plant material was oven dried and weighed for shoot dry matter (MSP) and grain dry matter (MSG) determination. Soil analysis determined soil pH and soil K, Si, Ca, Mg and Mn content. The same determinations, except pH, were also made on vegetal material and these results, multiplied by MSP resulted in the accumulation of these nutrients. In both soils, Pan, MSP, MSG, the K, Si, K and Mg releasing and shoot accumulation, for Verdete treatments, did not achieve the same level observed for standard fertilizers. Increasing Verdete rates resulted in reduction of soil Mg and Mg accumulation for both soils, until critical deficiency levels. The agronomic efficiency index (IEA) and the percentage of recovered K of Verdete were higher in LVd soil in comparison with RQo.

**Keywords:** *Oriza sativa* L., Wollastonite, KCl, manganese sulphate, Mg deficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é pertencente à família *poaceae*, planta aquática de Semeadura anual (YOSHIDA, 1981), com uma produção na safra brasileira de Dez/2015 superior a 10 milhões de toneladas, que comparadas as 500 milhões de toneladas produzidas mundialmente, representam uma baixa quantidade ao considerar o grande tamanho do país (CONAB, 2016). Os sistemas de cultivo predominantes de arroz no Brasil, estão localizados em ecossistemas de várzea e terras altas, representados por mais de 1,1 milhões de hectares nos estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, altamente tecnificados. Em outros estados (RJ, ES e MG), o sistema de cultivo predominante é de várzea úmida, implementado por pequenos agricultores e com baixo nível tecnológico (EMBRAPA, 2004).

Cabe ressaltar, que o clima é um fator determinante no crescimento e produção da cultura do arroz, pois, baixas temperaturas podem reduzir a germinação e o crescimento das plântulas, descoloração das folhas, degeneração de parte da panícula, emergência incompleta da panícula e retardamento da floração (GUIMARÃES et al. 2002; YOSHIDA, 1998). Outro fator importante para o sucesso da produtividade, é o tipo de solo, mas, como a maioria dos semeados com arroz, apresentam baixa fertilidade natural, o suprimento adequado de nutrientes junto com uma apropriada correção da acidez, são fundamentais para conseguir altos níveis de produtividade (SOSBAI, 2016).

Embora o Brasil tenha uma indústria de fertilizantes bem consolidada, as baixas reservas e a péssima qualidade das jazidas potássicas obrigam ao país a importar mais do 90% do potássio para satisfazer a demanda interna do nutriente (IBRAM, 2011). Portanto, essas grandes importações desfavorecem a balança comercial brasileira, pois mantém oscilações periódicas nos preços do KCl com base nas mudanças do dólar afetando a economia nacional (MARTINS, et al. 2008). Por conseguinte, a pesquisa em novas fontes de nutrientes é indispensável, visando reduzir a dependência estrangeira e favorecer a disponibilidade de fontes nacionais.

De tal maneira, novos fertilizantes devem ser avaliados agronomicamente para constatar sua capacidade de fornecer nutrientes ao solo e às plantas, o qual poderá resultar em níveis ótimos de produtividade ou em maior eficiência que as fontes habitualmente usadas na agricultura.

A companhia Verde Fertilizantes® tem trabalhado na procura de fontes alternativas de fertilizantes edáficos no Brasil, sendo o Verdete um dos produtos chave da empresa, derivado da moagem da rocha até conseguir granulometrias menor de 2 mm. O Verdete é uma rocha de cor verde de alto teor de glauconita, além disso possui, feldspatos potássicos, quartzo, albita, mica branca, clorita e opacos, com 7 a 14 % de K<sub>2</sub>O total, características que a tornam promissora como fonte de potássio, que via solo poderia fornecer o nutriente para diversas culturas. As jazidas do verdete são encontradas predominantemente em MG na região do Alto-Paraíba, na formação geológica Serra da Saudade (PIZA et al. 2009).

O produto tem sido avaliado em testes preliminares em café, cana e milho, mas, ainda não se conhece sua resposta em solos anegados, nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi a avaliar a eficiência agrônômica do Verdete na cultura arroz inundado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local dos experimentos

O experimento foi instalado em casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no período, a partir da incubação, desde o 28/02/2016 até 29/10/2016, em Uberlândia, MG.

Foram coletadas amostras de dois tipos de solos utilizados no experimento, na camada de 0-20 cm de profundidade, os quais apresentam as seguintes características físicas e químicas (tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Análise física dos solos utilizados no estudo.

| Solo                                | Areia Grossa                  | Areia Fina | Silte | Argila |
|-------------------------------------|-------------------------------|------------|-------|--------|
|                                     | -----g kg <sup>-1</sup> ----- |            |       |        |
| LVd - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico | 90                            | 43         | 33    | 834    |
| RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico | 626                           | 228        | 1     | 145    |

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 2011).

**Tabela 2.** Análise química dos solos utilizados no estudo

| Solo | pH  | Si<br>mg dm <sup>-3</sup> | Al <sup>3+</sup> | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | SB                                 | CTC   | t    | V    | m     | M.O.               |
|------|-----|---------------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------------------------|-------|------|------|-------|--------------------|
|      |     |                           | -----            |                |                  |                  | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | ----- |      | ---- | %---- | g kg <sup>-1</sup> |
| LVd  | 4,4 | 6,6                       | 0,7              | 0,05           | 0,2              | 0,0              | 0,26                               | 7,3   | 0,96 | 4    | 73    | 40                 |
| RQo  | 4,4 | 3,3                       | 1,0              | 0,05           | 0,2              | 0,1              | 0,39                               | 5,2   | 1,40 | 7    | 71    | 15                 |

Si = CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; P, K = (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por Al; M.O. = (Walkley-Black - EMBRAPA, 1999).

## 2.2 Caracterização das fontes

Prévio à instalação dos experimentos, as fontes utilizadas foram homogeneizadas e posteriormente moídas até passarem 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegada) submetidas a análises (física e química) no laboratório de fertilizantes LAFER do Instituto de Ciências Agrárias da UFU. Segundo o tamanho da peneira dada pela norma ABNT 10, foram caracterizadas as fontes por sua granulometria em pó (tabela 3). A caracterização dos fertilizantes foi realizada quanto a seus teores de macronutrientes, micronutrientes, Si solúvel e total (tabela 4) segundo metodologia descrita por Embrapa (2011) e Korndörfer et al. (2004).

**Tabela 3.** Caracterização física das fontes testadas

| Fonte                        | Natureza física | Especificações<br>granulométricas<br>(mm) |
|------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|
| Wollastonita (padrão de Si)  | Pó*             | < 2                                       |
| KCl (padrão de K)            |                 |                                           |
| Sulfato de Mn (padrão de Mn) |                 |                                           |
| Verdete                      | Pó*             | < 2                                       |

**Tabela 4.** Caracterização química das fontes testadas

| Fonte         | K <sub>2</sub> O               |          | Ca  | Mg*** | Si    |           | Fe | Mn  |
|---------------|--------------------------------|----------|-----|-------|-------|-----------|----|-----|
|               | Total                          | Solúvel* |     |       | Total | Solúvel** |    |     |
|               | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |          |     |       |       |           |    |     |
|               | --                             |          |     |       |       |           |    |     |
| Wollastonita  | -                              | -        | 303 | 11    | 230   | 120       | -  | -   |
| KCl           | 600                            | 600      | -   | -     | -     | -         | -  | -   |
| Sulfato de Mn | 0                              | 0        | 0   | 0     | 0     | 0         | 0  | 310 |
| Verdete       | 100                            | 5        | -   | 10    | 270   | 5         | 30 | 0,5 |

\*KCl = solúvel em água. Verdete = solúvel em ácido cítrico 2%, 1:500;\*\* Solúvel em NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>;\*\*\*Solúvel em HCl.

## 2.3 Condução dos experimentos

### 2.3.1 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizados (DBC) com quatro repetições, para ambos os experimentos, cujos tratamentos são apresentados na Tabela 5. As parcelas, foram constituídas de vasos plásticos de 10 dm<sup>3</sup> de capacidade, sendo adicionados 8 dm<sup>3</sup> de terra fina seca ao ar (TFSA), previamente incubada com os tratamentos.

A dose de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O foi definida a causa do ambiente limitado para desenvolvimento das plantas em vasos, assim, corresponde ao dobro da recomendação de K<sub>2</sub>O dada por Raij et al. (1996) para arroz inundado, em solos com baixo teor do elemento. Por conseguinte, os tratamentos foram definidos como doses menores de K<sub>2</sub>O a partir de 80 mg dm<sup>-3</sup> (tabela 5). O tratamento com Wollastonita (270 mg dm<sup>-3</sup> de Si) foi definido pela menor quantidade de Si total, fornecida pela dose da fonte testada, e o sulfato de manganês (2 mg dm<sup>-3</sup> de Mn) pela dose intermediária de Mn aportado pelo Verdete.

**Tabela 5.** Tratamentos.

| Tratamento    | Doses                          |                  |      |     |                     |                     |
|---------------|--------------------------------|------------------|------|-----|---------------------|---------------------|
|               | Fertilizante                   | K <sub>2</sub> O | Si   | Mn  | CaCO <sub>3</sub> * | MgCO <sub>3</sub> * |
|               | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |                  |      |     |                     |                     |
| Testemunha    | 0                              | 0                | 0    | 0   | 1100                | 560                 |
|               | 1000                           | 5                | 270  | 0,5 | 1100                | 525                 |
| Verdete       | 4000                           | 20               | 1080 | 2   | 1100                | 490                 |
|               | 8000                           | 40               | 2160 | 4   | 1100                | 280                 |
|               | 16000                          | 80               | 4320 | 8   | 1100                | 0                   |
| KCl           | 134                            | 80               | 0    | 0   | 1100                | 560                 |
| Sulfato de Mn | 7                              | 80               | 0    | 2   | 1100                | 560                 |
| Wollastonita  | 1174                           | 80               | 270  | 0   | 195                 | 514                 |

\* Quantidade de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> para equilibrar o Ca e o Mg fornecido pelas fontes testadas e elevar a saturação de bases a valores próximos a 70% para o solo arenoso. No solo argiloso deve-se acrescentar em todos os tratamentos uma quantidade extra de 735 mg de CaCO<sub>3</sub> por dm<sup>3</sup> de solo em todos os tratamentos.

### 2.3.2 Semeadura e adubação

90 dias antes da semeadura, os solos receberam quantidades suficientes de N e P de forma que não fosse um fator limitante, sendo assim aplicados 200 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente, provenientes de sulfato de amônio e superfosfato triplo. Os

micronutrientes foram fornecidos via solução, nas doses de 1,5; 5,0; 0,5 e 0,05 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, Zn, B e Mo provenientes das fontes CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O; ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> e (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O (Pereira et al. 2003).

As sementes da cultivar BRS Atalanta, foram semeadas na profundidade de 2 cm, distribuindo-se 15 sementes viáveis por vaso. 10 dias após a emergência foi efetuado o desbaste, deixando seis plantas por vaso. Aos 15 e 30 dias após semeadura (DAS), foi realizada a adubação de cobertura com 100 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio, utilizando o sulfato de (PEREIRA et al. 2003).

### **2.3.3 Manejo integrados da cultura**

Durante os 130 dias de duração do ciclo de cultivo, foram levados em consideração todos os manejos necessários para evitar interferências nos resultados. Foi mantida uma lâmina de água maior a três mm em todas as parcelas para todo o ciclo, e suspensão a irrigação 15 dias antes da colheita como recomendado por Fagundes (2007).

Aos 55 dias foi aplicado o produto Actara® (Thiametoxam 250 g kg<sup>-1</sup>) nas doses de 1 g L<sup>-1</sup>, para controle de pulgões. Por ocorrência de brusone (*Pyricularia oryzae*) aos 65 DAS foi aplicado o fungicida Score flexi® na dose de 0,5 ml L<sup>-1</sup> de água, junto com mancozebe (700 g kg<sup>-1</sup>) nas doses de 20 g L<sup>-1</sup>.

## **2.4 Avaliações**

### **2.4.1 Parte aérea**

30 dias antes da colheita das plantas, foi avaliado o número de perfilhos (Per) de cada parcela. Já ao término do cultivo, foram separadas e contadas as panículas para determinar o número de panículas (Pan) por parcela (Imagem 1). Seguidamente, folhas e caules foram cortados com auxílio de uma tesoura de mão, e posteriormente ambas partes foram condicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa a 65° C, para secagem. Após secas foram retiradas da estufa, onde a parte aérea das plantas foi pesada para obtenção da massa seca da parte aérea (MSP), posteriormente moída para fazer as análises foliares de nutrientes. As panículas foram pesadas para determinação da massa seca dos grãos (MSG) de cada parcela.

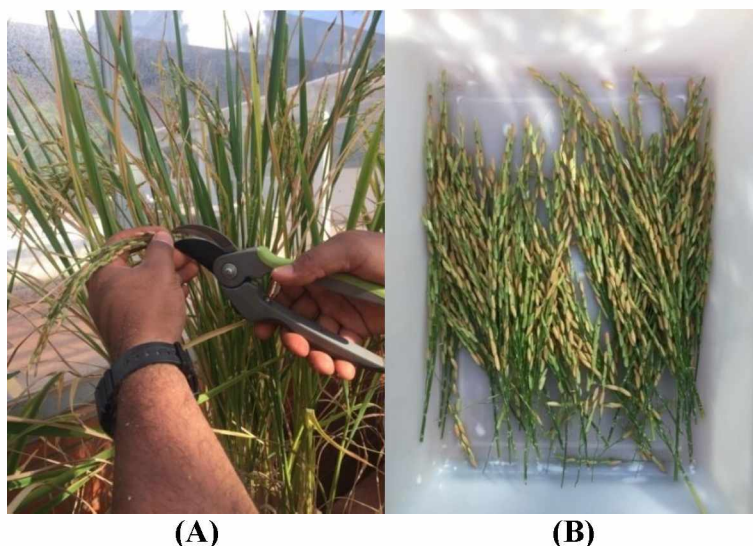


**Figura 1.** Colheita de panículas de plantas de arroz (A) e exposição das mesmas, para serem secas (B).

#### 2.4.2 Análises de solo

Após a colheita, foram retiradas amostras de solo de cada vaso (5 pontos), com auxílio de um "mini-trado". Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas e secas em estufa a 45°C por 24 horas para secagem. Foram feitas análises químicas do solo que consistiram na determinação de Si seguindo a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004), K (solução Mehlich-1 e resina), Ca, Mg, Mn (Solução Mehlich-1) e pH (em CaCl<sub>2</sub>) de acordo com a metodologia da Embrapa (2011).

#### 2.4.3 Índice de eficiência agronômica (IEA)

Com a MSP do arroz, foi calculado o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes para cada tipo de solo, dose segundo a equação:

$$IEA(\%) = \frac{MSP \text{ da fonte testada(Verdete)} - MSP \text{ da testemunha}}{MSP \text{ do tratamento controle(KCl)} - MSP \text{ da testemunha}} * 100$$

#### 2.4.4 Percentual de recuperado

Com a soma dos nutrientes acumulados na parte aérea, calculou-se a recuperação dos nutrientes proveniente das fontes segundo a equação abaixo:

$$K \text{ recuperado } (\%) = \frac{K \text{ acumulado da fonte(Verdete)} - K \text{ acumulado da testemunha}}{K \text{ aplicado no solo}} * 100$$

## 2.5 Análises estatísticas

Inicialmente, foram testadas as pressuposições estatísticas, onde se determinou se os dados apresentavam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e feito aditivo entre blocos, com o programa SSPS Statistics 17.0. Seguidamente, os dados que não atenderam as pressuposições foram transformados. Após, empregando-se o programa estadístico SISVAR (FERREIRA, 2008), foram realizados os análises de variância aplicando-se o teste de F a 0,05 de significância, junto com a análise de regressão polinomial para os tratamentos quantitativos. Cada tratamento foi comparado com a testemunha sem aplicação ( $0 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ) e com a aplicação de  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  proveniente do Cloreto de potássio, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância (SILVA; AZEVEDO, 2009). Finalmente com o SISVAR, analisou-se contrastes não ortogonais para aqueles tratamentos cujas doses de nutrientes foram iguais.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca dos grãos de arroz (MSG)

Para todos os tratamentos o número de perfilhos não deferiu com a testemunha (\*) no LVd (tabela 6). No RQo, o tratamento com Wollastonita evidenciou maior perfilhamento em relação à testemunha. A menor dose de Verdete teve menor perfilhamento do KCl (tabela 7). Em ambos solos Pan, MSP e MSG dos tratamentos com KCl, Wollastonita,  $\text{MNSO}_4$  e  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  do Verdete, foram mais eficientes em relação à testemunha (tabelas 6 e 7).

Com respeito ao KCl (+), no LVd, a testemunha e os tratamentos de 5, 20 e  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  do Verdete (tabela 6), e no RQo, ademais dos anteriores, a dosagem de  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  do Verdete (tabela 7) evidenciaram menor eficiência que o KCl em incrementar a MSP e a MSG.

**Tabela 6.** Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte área (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd.

| Tratamento             | Dose de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | Per | Pan | MSP<br>----- (g) ----- | MSG<br>----- |
|------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|------------------------|--------------|
| Testemunha             | 0                                               | 33  | 26+ | 36,1+                  | 8,6+         |
| Verdete                | 5                                               | 37  | 32  | 34,9+                  | 11,0+        |
|                        | 20                                              | 34  | 28+ | 47,8+                  | 16,9+        |
|                        | 40                                              | 36  | 29  | 54,5+                  | 18,9+        |
|                        | 80                                              | 38  | 35  | 63,5*                  | 29,5*        |
| KCl                    | 80                                              | 41  | 39* | 82,5*                  | 32,6*        |
| Wollastonita           | 80                                              | 42  | 39* | 90,41*                 | 40,16*       |
| MnSO <sub>4</sub>      | 80                                              | 43  | 44* | 89,3*                  | 34,6*        |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                                 | 10  | 7   | 11,5                   | 13,6         |
| CV(%)                  |                                                 | 13  | 10  | 9                      | 28           |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

**Tabela 7.** Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte área (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo.

| Tratamento             | Dose de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | Per | Pan | MSP<br>----- (g) ----- | MSG<br>----- |
|------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|------------------------|--------------|
| Testemunha             | 0                                               | 26  | 13+ | 15,1+                  | 1,5+         |
| Verdete                | 5                                               | 20+ | 15+ | 13,3+                  | 1,9+         |
|                        | 20                                              | 38  | 21  | 26,2+                  | 4,4+         |
|                        | 40                                              | 42  | 27  | 28,4+                  | 4,6+         |
|                        | 80                                              | 36  | 27  | 30,6+                  | 7,6+         |
| KCl                    | 80                                              | 39  | 39* | 67,1*                  | 39,5*        |
| Wollastonita           | 80                                              | 47* | 45* | 79,9*                  | 44,7*        |
| MnSO <sub>4</sub>      | 80                                              | 41  | 42* | 66,3*                  | 48,9*        |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                                 | 17  | 16  | 16,5                   | 10           |
| CV (%)                 |                                                 | 23  | 33  | 24                     | 31           |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Ao considerar que em culturas ciclo curto é necessário um rápido fornecimento de K, e ainda que o subministro continuo de água do sistema de inundação favorece a liberação e mobilidade de nutrientes para a solução do solo (CAMARGO et al. 1999), não houve efeito das condições de solos alagados sobre o Verdete, pois as características próprias do produto (pouco teor de K<sub>2</sub>O solúvel e baixa solubilidade) comprometeram o crescimento das plantas, sendo menor seu desempenho agrônômico em comparação ao KCl.

Resultados similares foram obtidos por Santos (2013), que ao avaliar o feldspato, sienito e Verdete na cultura do milho, encontrou baixos valores de massa seca da parte aérea, sendo semelhantes à testemunha em duas doses avaliadas, de 50 e 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, para um NEOSSOLO QUARTZIARENICO.

Duarte (2012) ao avaliar na cultura do milho, as fontes Verdete, Verdete Calcinado e KCl em um LVd, menciona que o Verdete foi o único tratamento que não diferiu significativamente da testemunha, confirmando os resultados do presente trabalho, pois o Verdete mostrou menor eficiência em aumentar a matéria seca da parte aérea.

No solo argiloso não houve ajuste de modelo significativas para perfilhos nem panículas. No solo arenoso, os modelos de regressão polinomial ajustados foram do tipo quadrático, onde até 50,4 e 61,8 mg dm<sup>-3</sup> foram evidenciados os maiores valores de perfilhos (43) e panículas (29) (figuras 2A e 2B). O aumento do K<sub>2</sub>O proveniente do Verdete, proporcionou incrementos lineares na massa seca da parte aérea e dos grãos, para ambos tipos de solos (figuras 2C e 2D) com maior incremento observado para o solo argiloso, sendo que para cada 10 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O aplicados aumentou-se 3,6 g de MSP e 2,4 g de MSG, e para o solo arenoso os incrementos foram de 2,0 g e 0,7 g, respectivamente

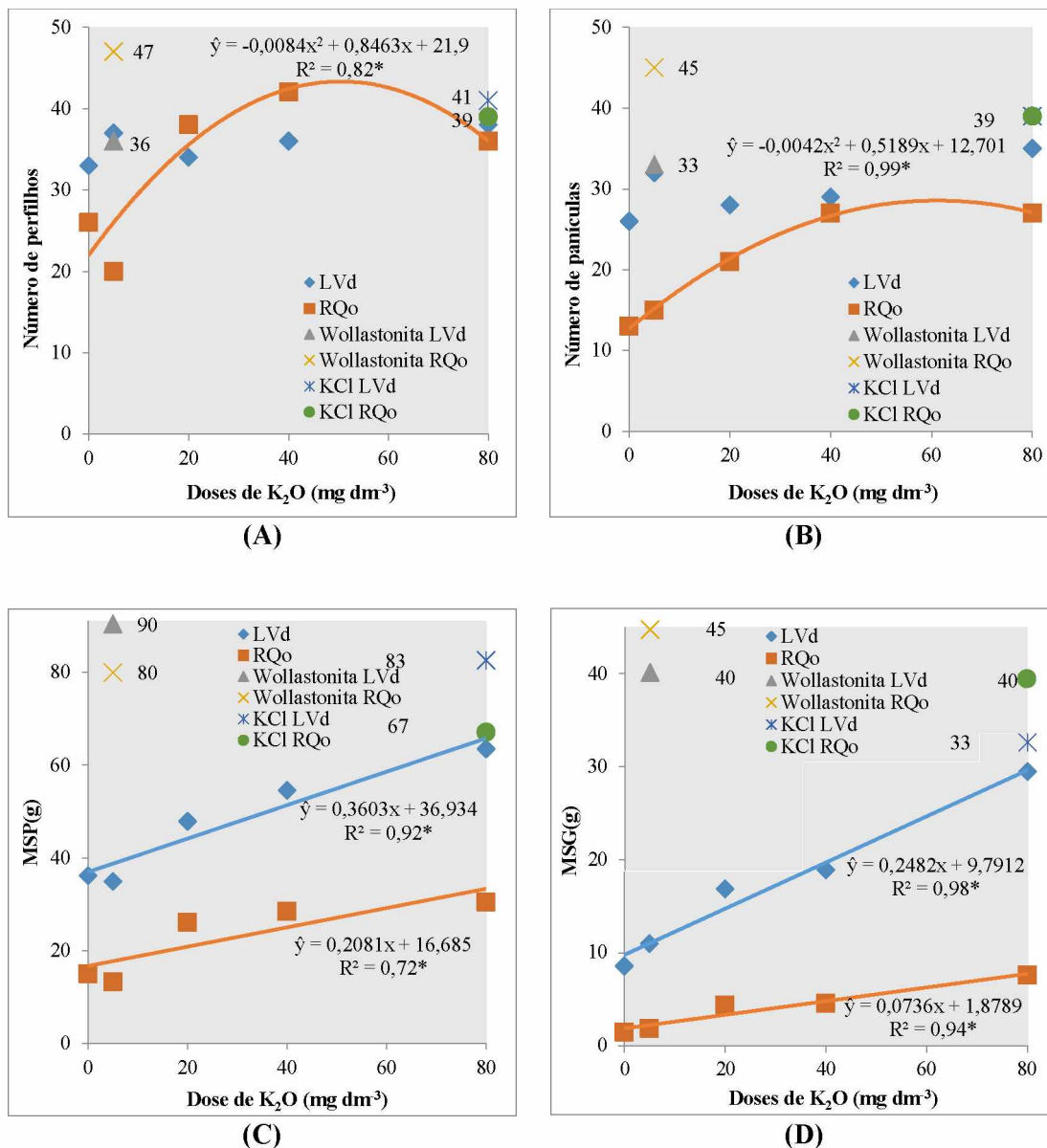
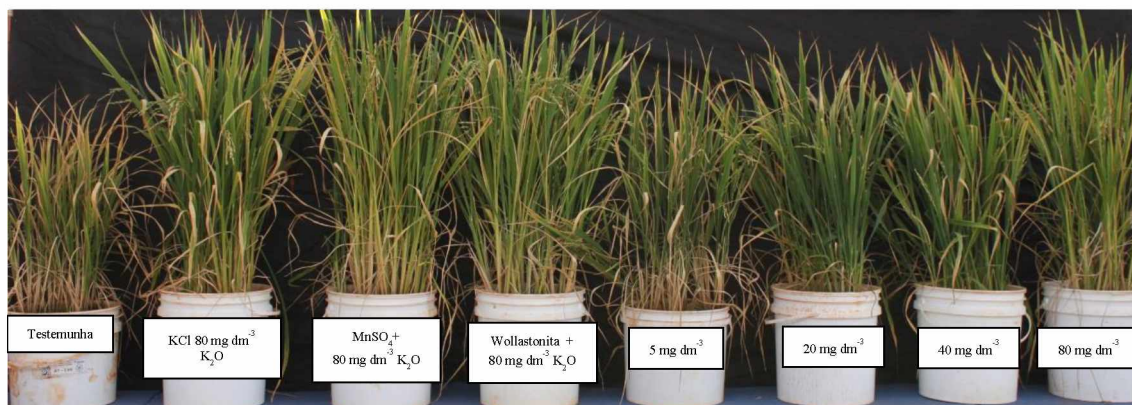
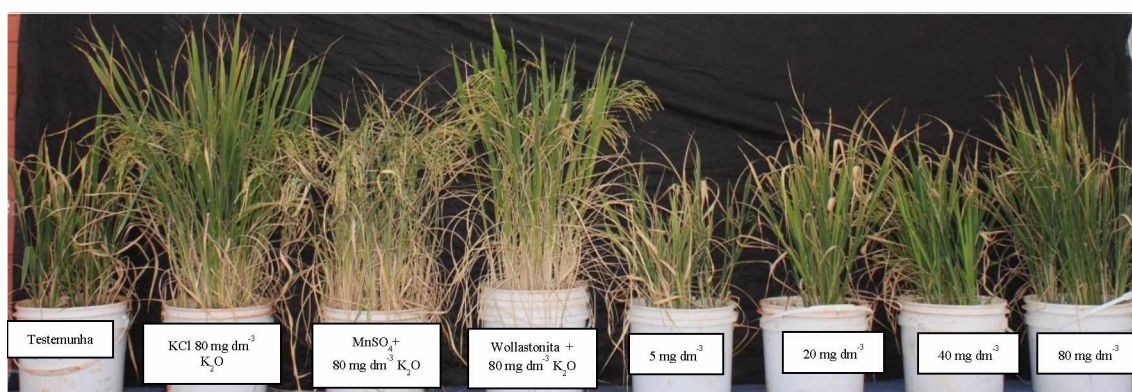


**Figura 2.** Ajustes lineares e quadráticos para número de perfilhos (A), número de panículas (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca dos grãos (D) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação as fontes KCl, Wollastonita e sulfato de manganês, em dois tipos de solos LVd e RQo.

Cabe ressaltar que as fontes padrões, evidenciaram valores superiores às doses de Verdete, assim, o baixo desempenho agrônômico dele em comparação com aquelas, é observado nas figuras 3A e 3B que ilustram o comportamento do arroz frente aos tratamentos, sobretudo para o RQo, onde as plantas com Verdete ficaram morfológicamente parecidas à testemunha (figura 3B).



(A)



(B)

**Figura 3.** Desenvolvimento de plantas de arroz 90 dias após semeadura, em função da aplicação de KCl, sulfato de manganês, Wollastonita e Verdete no LVd (A) e RQo (B).

Ao analisar o teste de contrastes para a doses de  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  na forma de KCl, em comparação à mesma fonte adicionada à Wollastonita e sulfato de manganês para o LVd, em todas as variáveis, o KCl em mistura foi superior ao aplicado sozinho, de mostrando que o aporte de Si e Mn favoreceu o crescimento e desenvolvimento do arroz (tabela 8). Já no solo arenoso, o desempenho da adição de Wollastonita e sulfato de manganês foi semelhante ao KCl sozinho (tabela 8).

**Tabela 8.** Contrastes dos tratamentos com aplicação de  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ .

| Contraste                                                  | Solo | Per       |     |       | Pan       |     |        | MSP(g)    |     |      | MSG(g)    |     |      |
|------------------------------------------------------------|------|-----------|-----|-------|-----------|-----|--------|-----------|-----|------|-----------|-----|------|
|                                                            |      | $\hat{y}$ | t   | Pr    | $\hat{y}$ | t   | Pr     | $\hat{y}$ | t   | Pr   | $\hat{y}$ | t   | Pr   |
| KCl 80<br>Vs                                               | LVd  | 12,5      | 4,1 | 0,05* | 11,6      | 5,4 | 0,005* | 27,6      | 7,9 | 0,0* | 11,9      | 2,9 | 0,4* |
| KCl 80 +<br>MnSO <sub>4</sub> ,<br>KCl 80<br>+Wollastonita | RQo  | 4,4       | 5,0 | 0,9   | 4,5       | 0,8 | 0,9    | 6,0       | 1,0 | 0,9  | 7,4       | 2,1 | 7,4  |

$\hat{y}$ : estimativa de contraste; t: estatística do teste de "t-Student".\* significativo pelo teste de Scheffé a 0,10 de significância.

### 3.2 Índice de eficiência agrônômica IEA

Nos dois solos avaliados, o Verdete apresentou menor IEA que o KCl, sendo 59% no LVd e 29,7% no RQo (Figura 4). Maior IEA foi encontrado no solo argiloso, segundo Duarte (2012), isso justifica-se pela classe textural do solo que possui partículas com maior superfície específica favorecendo o contato das fontes com as partículas de solo, assim existe uma melhor reação especialmente nas fontes testadas que apresentam baixa solubilidade.

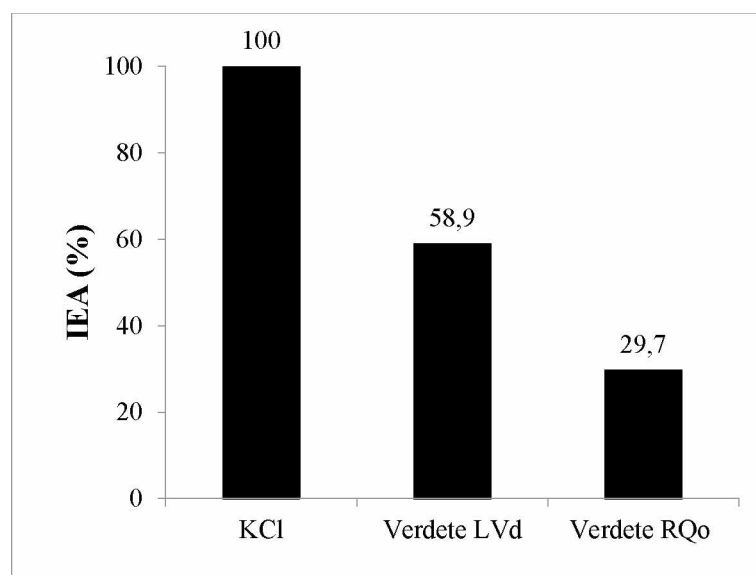


**Figura 4.** Índice de eficiência agrônômica de Verdete com relação ao KCl, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz semeado no LVd e RQo.

### 3.3 Silício no solo e acumulado

Ao avaliar as doses de Verdete no arroz inundado, evidencia-se que mesmo ao aplicar mais de 4,3 toneladas de Si dessa fonte, o teor de Si no solo e acumulado pela parte aérea não diferiu da testemunha, tanto no solo arenoso como no argiloso (Tabelas 9 e 10), fato que pode ser atribuído a sua baixa solubilidade (DUARTE, 2012). De modo adverso, a Wollastonita apresentou teores bem maiores, porém, em doses de Si muito menores que às avaliadas para a fonte testada.

Assim, Pereira et al. (2003) constataam diferenças entre fontes de Si, pois ao avaliar o termofosfato e os agregados siderúrgicos da Mannesman em tomateiro, embora foi menor a dose e a concentração de Si do primeiro, o termofosfato apresentou resultados semelhantes às escórias, demonstrando assim a alta liberação de Si por esse produto, como aconteceu com a Wollastonita neste trabalho. Da mesma forma, Pereira et al. (2004)

indicam que a liberação de Si ao solo de diferentes fontes de Si (Rhodia, Remix, escórias de alto-forno, o xisto, a cinza de xisto, etc.), apresentaram comportamento inferior à Wollastonita.

O tratamento com Wollastonita no LVd, apresentou maior teor de silício no solo e acumulado na parte aérea que a testemunha. No RQo ainda que o valor de Si no solo foi o maior, este não diferiu da testemunha, porém, o Si acumulado do tratamento de Wollastonita foi o superior, e quase o dobro da Wollastonita do LVd (Tabelas 9 e 10).

**Tabela 9.** Teor de Si no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita ou de doses crescentes de Verdete no LVd.

| <b>Tratamento</b>      | <b>Doses Si<br/>mg dm<sup>-3</sup></b> | <b>Si Solo<br/>mg dm<sup>-3</sup></b> | <b>Si acumulado<br/>mg vaso<sup>-1</sup></b> |
|------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                      | 4,8                                   | 562                                          |
| KCl                    | 0                                      | 3,7                                   | 688                                          |
| Wollastonita           | 270                                    | 8,3*                                  | 1386*                                        |
|                        | 270                                    | 4,9                                   | 467                                          |
| Verdete                | 1080                                   | 4,7                                   | 525                                          |
|                        | 2160                                   | 5,0                                   | 542                                          |
|                        | 4320                                   | 6,3                                   | 546                                          |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                        | 1,1                                   | 190                                          |
| CV (%)                 |                                        | 11                                    | 13                                           |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*).

**Tabela 10.** Teor de Si no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita ou de doses crescentes de Verdete no RQo.

| <b>Tratamento</b>      | <b>Doses de Si<br/>mg dm<sup>-3</sup></b> | <b>Si no Solo<br/>mg dm<sup>-3</sup></b> | <b>Si acumulado<br/>mg vaso<sup>-1</sup></b> |
|------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                         | 3,2                                      | 268                                          |
| KCl                    | 0                                         | 2,5                                      | 324                                          |
| Wollastonita           | 270                                       | 4,1                                      | 2139*                                        |
|                        | 270                                       | 2,6                                      | 288                                          |
|                        | 1080                                      | 3,1                                      | 428                                          |
| Verdete                | 2160                                      | 3,3                                      | 400                                          |
|                        | 4320                                      | 2,7                                      | 348                                          |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                           | 1,7                                      | 646                                          |
| CV (%)                 |                                           | 33                                       | 67                                           |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*).

Houve influência das doses de Verdete nos teores de silício no solo de textura argilosa. Ajustou-se um modelo linear que evidenciou um aumento de 0,04 mg dm<sup>-3</sup> de Si no solo para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Si proveniente do Verdete (figura 5), resultado até que não refletiu sobre o acúmulo do elemento na parte aérea das plantas. Tais resultados contrariam as observações feitas por Ramos et al. (2009), Pereira et al. (2004) e Braga (2004), pois ao avaliar a Wollastonita como fonte de Si, encontraram aumentos do elemento da parte aérea do arroz na medida que foi incrementada a dose de Si no solo.

A taxa de incremento de 0,04 mg dm<sup>-3</sup> encontrada no presente estudo pode ser considerada baixa, pois Pereira et al. (2004) encontraram uma taxa de incremento de 0,86 mg dm<sup>-3</sup> de Si para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Si em um NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO, e determinado com o mesmo extrator (CaCl<sub>2</sub>), assim é mostrado na figura 5, que o teor de Si no solo proporcionado pela Wollastonita (8,3 e 4,1 mg dm<sup>-3</sup> de Si) foi superior a todas as doses avaliadas do Verdete em ambos solos.

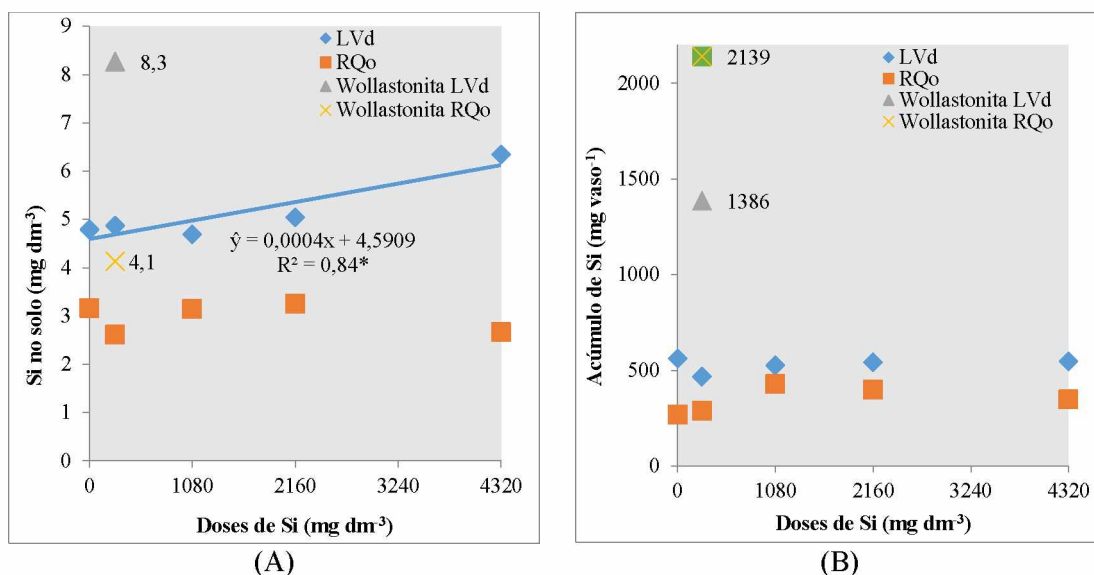


**Figura 5.** Ajuste linear para teor de Si no solo (A), Si acumulado na parte aérea de plantas de arroz (B), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação a Wollastonita em dois tipos de solos LVd e RQo.

### 3.4 Potássio no solo e acumulado

No solo argiloso, o teor de potássio para o extrator mehlich-1, na dose de 5 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete, evidenciou menor teor do elemento em relação ao KCl, da mesma maneira foi a dose de 20 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O para a resina. No potássio acumulado, a maior dose de K<sub>2</sub>O proveniente do Verdete, assim como o KCl, apresentaram maior acúmulo do elemento em comparação à testemunha sem aplicação de fertilizante (K<sub>2</sub>O) (Tabela 11).

Nas doses menores de K<sub>2</sub>O da fonte testada (5, 20 e 40 mg dm<sup>-3</sup>) e o tratamento com Wollastonita, foram evidenciados menores acúmulo de K na parte área das plantas em comparação ao KCl, isso concorda com Duarte (2012), que infere que as plantas com wollastonita apresentaram menor acúmulo de K porque foi maior sua matéria seca, havendo um efeito de diluição.

**Tabela 11.** Teor de K no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita ou de doses crescentes do Verdete no LVd.

| Tratamento             | Doses de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | K no solo                        |        | K<br>Acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|--------|-----------------------------------------|
|                        |                                                  | Mehlich-1<br>mg dm <sup>-3</sup> | Resina |                                         |
| Testemunha             | 0                                                | 15,8                             | 13,5   | 111+                                    |
| Verdete                | 5                                                | 12,5+                            | 13,5   | 102+                                    |
|                        | 20                                               | 16,3                             | 12,0+  | 133+                                    |
|                        | 40                                               | 15,5                             | 14,5   | 213+                                    |
|                        | 80                                               | 18,3                             | 15,0   | 327*                                    |
| KCl                    | 80                                               | 19,3                             | 16,5   | 412*                                    |
| Wollastonita           | 80                                               | 17,8                             | 14,5   | 225+                                    |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                                  | 6,6                              | 3,0    | 131                                     |
| CV (%)                 |                                                  | 19                               | 10     | 27                                      |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

No solo arenoso, os teores de K encontrados com a solução mehlich-1 a fonte padrão KCl foi superior à testemunha sem aplicação de K<sub>2</sub>O. A testemunha e a dose de 10 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O provenientes do Verdete foram menos eficientes em incrementar o teor de potássio no solo que o KCl, resultado que pode ser explicado pela baixa CTC do solo arenoso que não consegue segurar o elemento. Os valores de extração de potássio dados pela resina trocadora de íons foram iguais em todas fontes testadas, e o KCl na dose de 80 mg dm<sup>-3</sup> evidenciou acúmulo superior de potássio na parte aérea que todas as doses testadas de Verdete (tabela 12).

**Tabela 12.** Teor de K no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita ou de doses crescentes de Verdete no RQo.

| Tratamento             | Doses de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | K no solo                        |        | K<br>Acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|--------|-----------------------------------------|
|                        |                                                  | Mehlich-1<br>mg dm <sup>-3</sup> | Resina |                                         |
| Testemunha             | 0                                                | 8,3+                             | 10,0   | 55+                                     |
| Verdete                | 5                                                | 10,5                             | 10,5   | 48+                                     |
|                        | 20                                               | 8,3+                             | 13,5   | 109+                                    |
|                        | 40                                               | 12,5                             | 12,0   | 131+                                    |
|                        | 80                                               | 12,0                             | 13,0   | 154+                                    |
| KCl                    | 80                                               | 16,3*                            | 13,0   | 326*                                    |
| Wollastonita           | 80                                               | 9,0+                             | 12,5   | 317*                                    |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                                  | 5,8                              | 3,4    | 166                                     |
| CV (%)                 |                                                  | 31                               | 17     | 58                                      |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Ambos métodos de determinação de K nos dois solos não apresentaram modelos ajustados (figuras 6A e 6B). Para o K acumulado na parte aérea, em função das doses crescentes do Verdete em ambos solos, houve ajuste linear dos modelos, onde para cada 10 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O provenientes do Verdete o aumento foi de 28 e 13 mg vaso<sup>-1</sup>, no LVd e RQo, respectivamente (figura 6C).

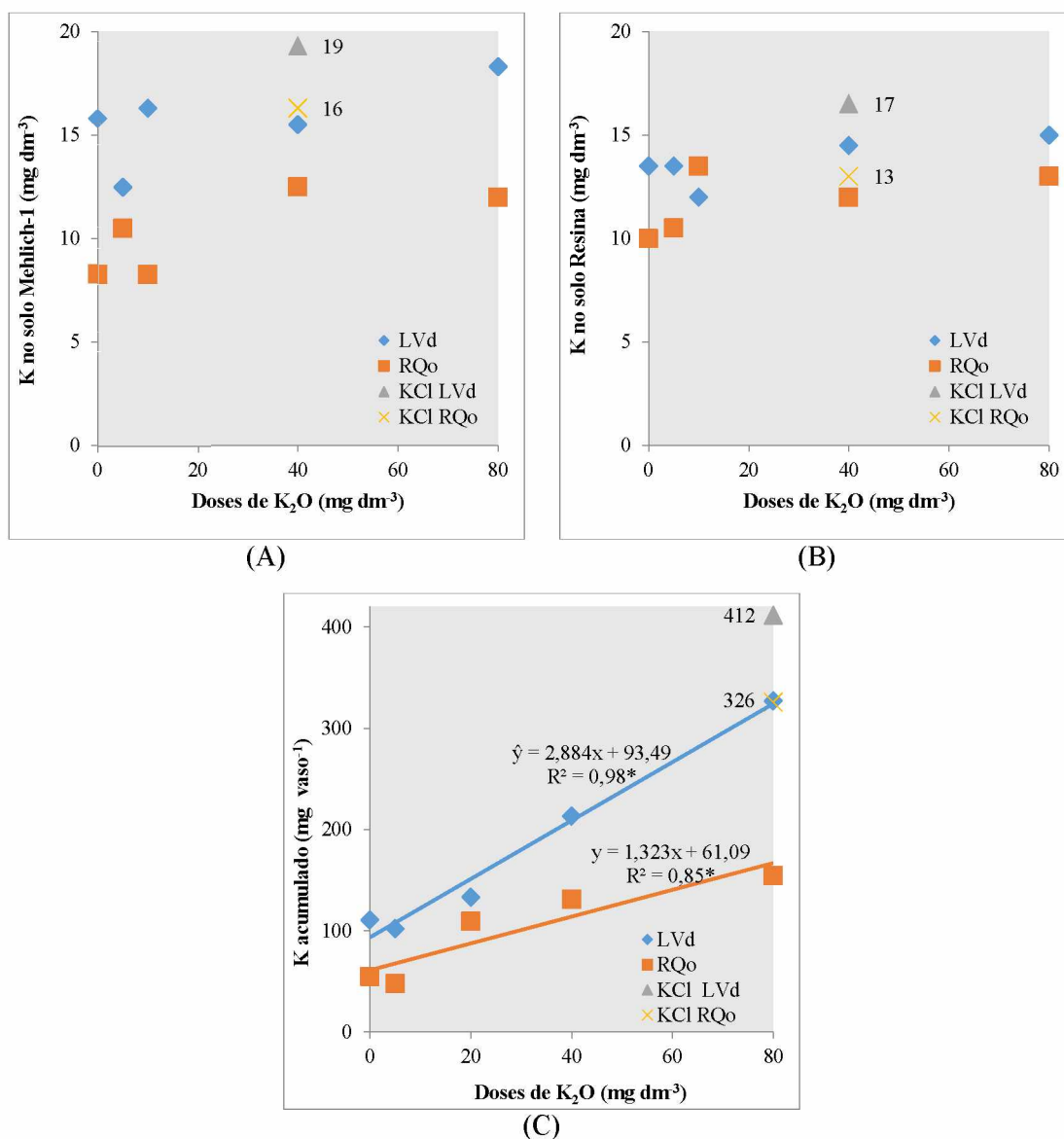


**Figura 6.** Teores de K no solo determinados por Mehlich-1 (A), Resina (B) e ajustes lineares do K acumulado na parte aérea de plantas de arroz (C), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação o KCl em dois tipos de solos LVd e RQo.

Na figura 7 verifica-se que 47 e 34% do potássio fornecido pelas fontes KCl e o Verdete, respectivamente, foram acumulados na parte aérea do arroz no LVd. No solo arenoso (figura 7B) foram evidenciados menores valores, assim o K<sub>2</sub>O proveniente do KCl e o Verdete foi recuperado pelas plantas em 42 e 16%, respectivamente.

Diante disso, ainda que a dose de K<sub>2</sub>O do Verdete foi a mesma que do KCl, a recuperação do elemento foi menor, fato que pode ser atribuído à menor solubilidade da fonte testada como é considerado por Duarte (2012) assim, há um menor aporte de K ao solo e por tanto menor quantidade do elemento absorvido pela planta.

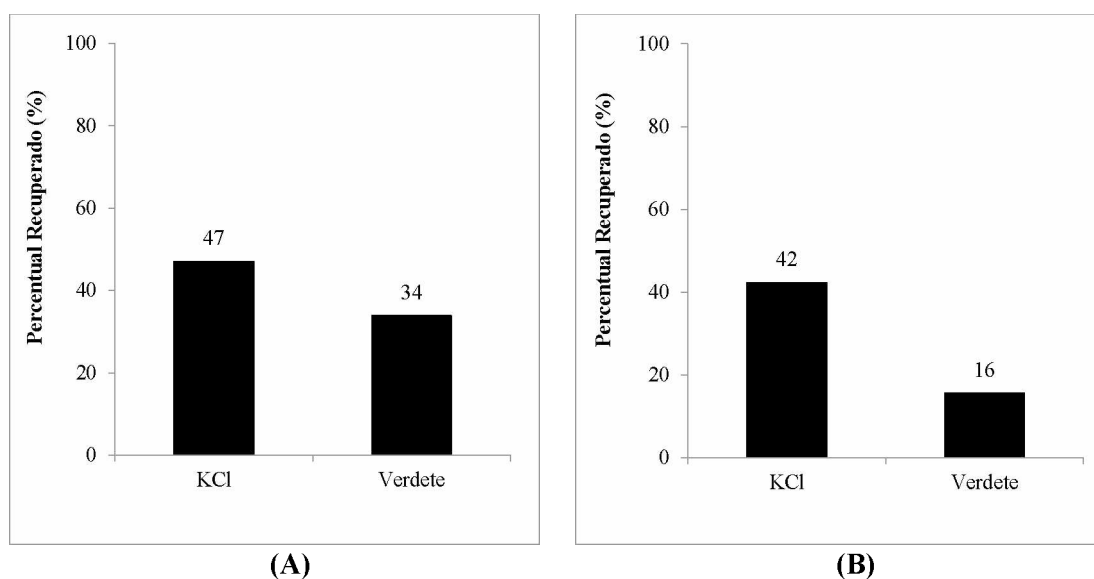


**Figura 7.** Percentual de potássio recuperado pelo arroz, calculado com base no potássio acumulado na parte aérea no LVd (A) e no RQo (B).

### 3.5 Manganês no solo e acumulado

No solo argiloso, ao aplicar 2, 4 e 8 mg dm<sup>-3</sup> de Mn proveniente do Verdete, o teor de Mn no solo foi superior que à testemunha, e no solo arenoso somente foi mais eficiente a dose de 8 mg dm<sup>-3</sup> de Mn do Verdete. A fonte padrão de Mn (MnSO<sub>4</sub>) não incrementou o teor de Mn no solo em comparação à testemunha para ambos solos, porém, o acúmulo de Mn na parte área foi superior à testemunha quando aplicado o MnSO<sub>4</sub> e também para 8 mg dm<sup>-3</sup> de Mn proveniente do Verdete, em ambos solos. De tal maneira, a fonte testada forneceu Mn para as plantas de forma semelhante à fonte padrão de Mn, no entanto, quando adicionada a maior dose (tabelas 13 e 14).

**Tabela 13.** Manganês no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd.

| Tratamento             | Doses de Mn<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mn no Solo<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mn Acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                  | 0,13                              | 11                                    |
| KCl                    | 0                                  | 0,12                              | 11                                    |
| MnSO <sub>4</sub>      | 2                                  | 0,18                              | 24*                                   |
| Verdete                | 0,5                                | 0,14                              | 11                                    |
|                        | 2                                  | 0,23*                             | 14                                    |
|                        | 4                                  | 0,22*                             | 21                                    |
|                        | 8                                  | 0,43*                             | 30*                                   |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                    | 0,10                              | 9                                     |
| CV (%)                 |                                    | 16                                | 26                                    |

\*Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha.

**Tabela 14.** Manganês no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo.

| Tratamento             | Doses Mn<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mn Solo<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mn Acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha             | 0                               | 0,15                           | 6                                     |
| KCl                    | 0                               | 0,13                           | 14                                    |
| MnSO <sub>4</sub>      | 2                               | 0,22                           | 15*                                   |
| Verdete                | 0,5                             | 0,22                           | 5                                     |
|                        | 2                               | 0,35                           | 12                                    |
|                        | 4                               | 0,31                           | 14                                    |
|                        | 8                               | 0,43*                          | 16*                                   |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                 | 0,2                            | 8,1                                   |
| CV (%)                 |                                 | 48                             | 42                                    |

\*Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha.

Para o teor de Mn no solo, houve ajuste linear para ambos solos, sendo que para cada um mg dm<sup>-3</sup> de Mn aplicado no LVd e no RQo se têm incrementos de 0,036 e 0,030 mg dm<sup>-3</sup> de Mn, respectivamente (Figura 8A). Por outra parte, foram evidenciados modelos lineares para o acúmulo de Mn, assim para a mesma quantidade de Mn adicionado desde o Verdete, o incremento foi de 2,44 e 1,35 mg de Mn (figura 8B).

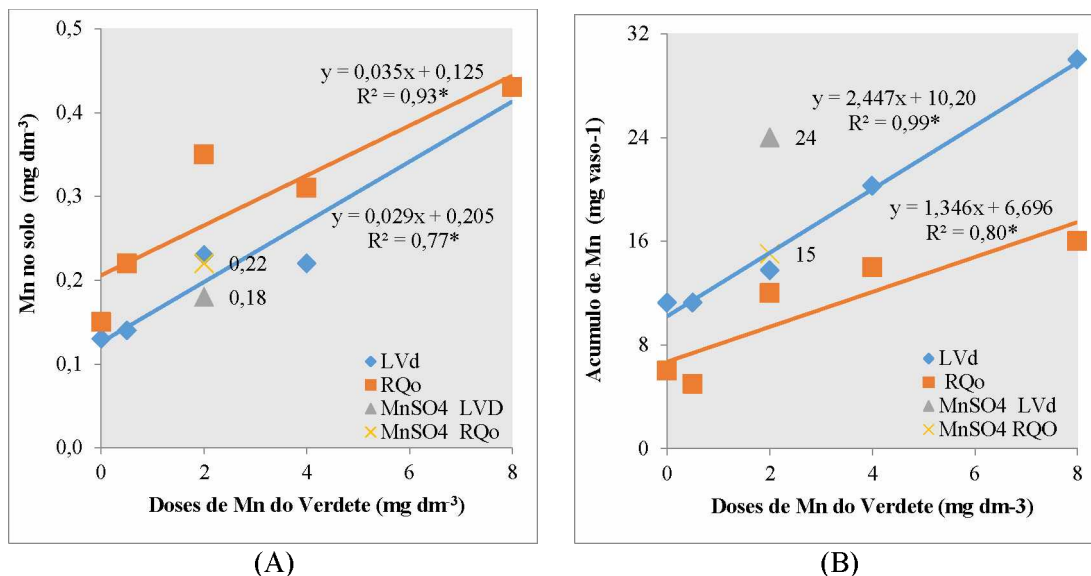


**Figura 8.** Ajustes lineares para o teor de Mn no solo (A) e acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação a sulfato de manganês em dois tipos de solos, LVd e RQo.

Ainda que o Verdete é um fertilizante de baixa solubilidade, o aumento no teor de Mn proveniente do Verdete pode ser atribuído da fonte ao incremento das doses e favorecido pelas condições de alagamento, assim como é afirmado por Camargo et al. (1999) os quais indicam a inundação aumenta a concentração de  $Mn^{2+}$  solúvel, e pode atingir níveis tóxicos para o arroz, que neste trabalho não foram evidenciados em virtude das baixas doses de Mn aplicadas. Da mesma maneira Ponnampertuma (1972) (citado por ANGHINONI et al. 2013), menciona que uma consequência do alagamento é o aumento do  $Mn^{2+}$  na solução do solo.

Igualmente, Ferreira et al. (2009) constataram que o aumento de doses de Mn em arroz, independentemente da cultivar, apresentou incremento linear no teor do elemento na parte aérea. Assim, as doses avaliadas no referido trabalho foram até 40 mg dm<sup>-3</sup> de Mn (apresentou nível tóxico de Mn), e ainda que neste trabalho avaliou-se até 8 mg dm<sup>-3</sup> de Mn, o modelo linear do acúmulo de Mn foi significativo.

Da mesma maneira Pereira et al. (2001) evidenciaram aumento linear no teor de Mn acumulado até 16 mg dm<sup>-3</sup> de Mn aplicado. O mesmo autor indica que a máxima produção de grãos foi entre 8,75 e 9,93 mg dm<sup>-3</sup> de Mn, sendo semelhante ao obtido nesse estudo (tabelas 6 e 7), mas, esse resultado não é atribuído somente ao efeito do Mn.

No presente trabalho os teores de Mn foliares foram desde 267 a 454 mg kg<sup>-1</sup> para o LVd, e de 226 até 503 mg kg<sup>-1</sup> para o RQo, e segundo Fageria et al. (1995) a faixa de 30 a 600 mg kg<sup>-1</sup> corresponde ao nível adequado do elemento na parte aérea.

### 3.6 pH, Cálcio no solo e Acumulado

Os valores pH e de Ca no solo, para ambos solos avaliados apresentaram poucas diferenças entre os tratamentos (tabelas 15 e 16), isso devido à aplicação de carbonato de cálcio feita ao início dos experimentos (tabela 5). A prática foi realizada em virtude de o produto testado não ser uma fonte de Ca, assim, foram equilibrados os teores do elemento para não interferir nos resultados.

Ainda que as quantidades de Ca aplicadas foram iguais, no solo argiloso, a maioria das doses de Verdete foram menos eficientes no acúmulo do elemento em comparação ao KCl, somente a maior dose (16 g dm<sup>-3</sup>) foi mais eficiente que a testemunha, juntamente com KCl, Wollastonita e MnSO<sub>4</sub>, fato relacionado com o baixo crescimento das plantas nas menores doses (tabela 15).

Os resultados concordam com Duarte (2012), quem menciona o Verdete como o pior tratamento no acúmulo de Ca na parte aérea do milho, Santos (2013) indica que o tratamento com verdete apresentou comportamento similar à testemunha com menores valores de acúmulo de Ca no LVd.

**Tabela 15.** pH, Ca no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd.

| Tratamento             | Fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | pH  | Ca no solo<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Ca acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|------------------------------|-----|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha             | 0                            | 4,5 | 2,4                                              | 509+                                  |
| MnSO <sub>4</sub>      | 7                            | 4,8 | 3,2                                              | 1264*                                 |
| KCl                    | 134                          | 4,7 | 2,3                                              | 1330*                                 |
| Wollastonita           | 1174                         | 4,7 | 2,6                                              | 1247*                                 |
| Verdete                | 1000                         | 4,6 | 2,7                                              | 456+                                  |
|                        | 4000                         | 5,0 | 3,2                                              | 645+                                  |
|                        | 8000                         | 4,7 | 2,8                                              | 836+                                  |
|                        | 16000                        | 4,6 | 2,7                                              | 1059*                                 |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                              | 0,9 | 1,0                                              | 371                                   |
| CV (%)                 |                              | 10  | 17                                               | 20                                    |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Para o solo arenoso, o Ca acumulado também foi superior ao da testemunha nos tratamentos com o KCl. A menor dose de Verdete e a testemunha, também apresentaram menor eficiência no acúmulo de Ca em relação ao KCl (tabela 16). Resultado contrário ao encontrado por Santos (2012), que no acúmulo de Ca em milheto o tratamento com KCl foi igual ao da testemunha, e o tratamento com Verdete não diferiu. Assim como no LVd, os acúmulos de Ca dos tratamentos com Verdete foram baixos no RQo, resultado atribuído ao menor crescimento das plantas, bem inferior na menor dose da fonte testada (tabela 16).

**Tabela 16.** pH, Ca no solo e Ca acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete RQo.

| Tratamento             | Fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | pH  | Ca no solo<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Ca acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|------------------------------|-----|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha             | 0                            | 5,2 | 2,7                                              | 215+                                  |
| MnSO <sub>4</sub>      | 7                            | 5,8 | 2,7                                              | 815*                                  |
| KCl                    | 134                          | 5,1 | 2,6                                              | 797*                                  |
| Wollastonita           | 1174                         | 5,1 | 2,7                                              | 1032*                                 |
| Verdete                | 1000                         | 5,3 | 2,8                                              | 194+                                  |
|                        | 4000                         | 4,7 | 3,3                                              | 373                                   |
|                        | 8000                         | 5,0 | 3,2                                              | 435                                   |
|                        | 16000                        | 5,1 | 2,5                                              | 465                                   |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                              | 0,8 | 0,8                                              | 385                                   |
| CV (%)                 |                              | 8,5 | 16                                               | 43                                    |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Em relação ao teor de Ca no solo, no LVd, não houve ajuste de modelo, já no RQo o modelo ajustado foi de tipo quadrático, sendo que até 7460 mg dm<sup>-3</sup> de Verdete aplicados se alcançou o maior valor de Ca (3,26 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) (figura 9A). O acúmulo de Ca na parte área apresentou ajuste de modelo linear para ambos solos, de tal maneira que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Verdete aplicados a taxa de incremento foi de 3,7 e 1,6 mg vaso<sup>-1</sup> de Ca para o LVd e RQo, respectivamente. No solo argiloso foi o dobro que no arenoso, pois se tem que considerar que as plantas nesse solo apresentaram maior massa seca da parte área (figura 9B).

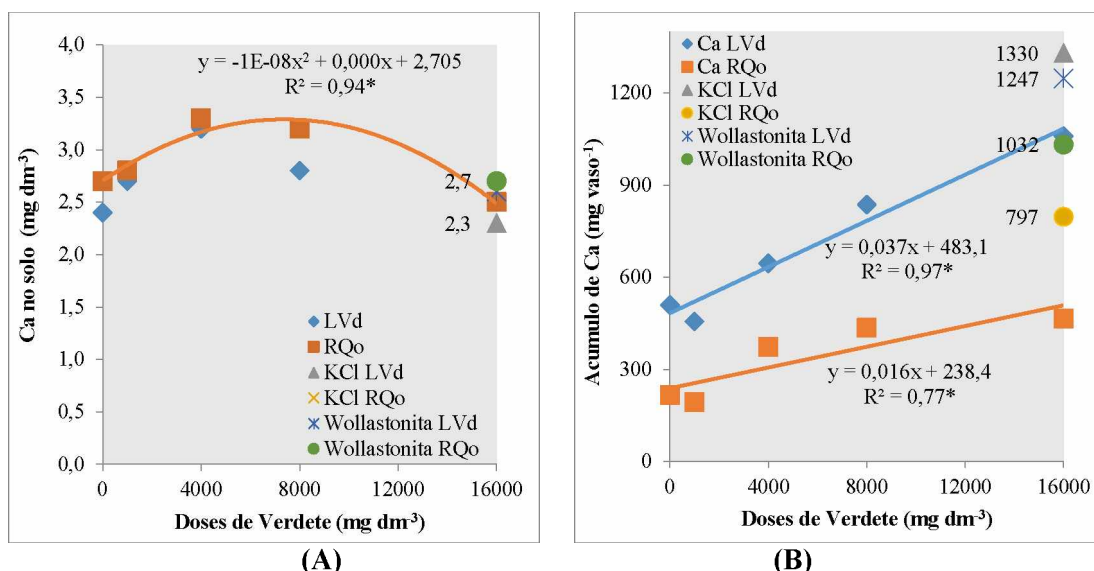


**Figura 9.** Ajustes quadráticos e lineares para o teor de Ca no solo (A) e acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação ao KCl e Wollastonita em dois tipos de solos, LVd e RQo.

### 3.7 Magnésio no solo e acumulado

Na Tabela 4, verifica-se que o Verdete é composto de 10 g kg<sup>-1</sup> de Mg, portanto com o aumento das doses do produto foi reduzida a quantidade de Mg aplicado em forma de MgCO<sub>3</sub> (tabela 5). Porém, para ambos solos a maior dose da fonte testada (16000 mg dm<sup>-3</sup>) evidenciou os teores mais baixos de Mg no solo, até inferiores à testemunha.

Por outra parte, no LVd a fonte padrão KCl foi mais eficiente em aumentar o acúmulo de Mg na parte aérea em relação a testemunha e aos todos os demais tratamentos (tabela 17). Também, no RQo todas as doses avaliadas de Verdete apresentaram menor desempenho no acúmulo de Mg que o KCl, tratamento que junto com a adição de Wollastonita e MnSO<sub>4</sub> superaram à testemunha (tabela 17).

**Tabela 17.** Mg no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no LVd.

| Tratamento             | Doses da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Doses de MgO<br>da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mg no solo<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Mg acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                     | 0                                               | 0,5                                              | 378+                                  |
| MnSO <sub>4</sub>      | 7                                     | 0                                               | 0,4                                              | 450+                                  |
| KCl                    | 134                                   | 0                                               | 0,4                                              | 835*                                  |
| Wollastonita           | 1174                                  | 22                                              | 0,5                                              | 396+                                  |
| Verdete                | 1000                                  | 17                                              | 0,6                                              | 305+                                  |
|                        | 4000                                  | 67                                              | 0,5                                              | 362+                                  |
|                        | 8000                                  | 134                                             | 0,3                                              | 362+                                  |
|                        | 16000                                 | 267                                             | 0,1*                                             | 190+                                  |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                       |                                                 | 0,3                                              | 341                                   |
| CV (%)                 |                                       |                                                 | 36                                               | 41                                    |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

**Tabela 18.** Mg no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, Sulfato de manganês ou de doses crescentes de Verdete no RQo.

| Tratamento             | Doses da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Doses de MgO<br>da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mg no solo<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Mg acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                     | 0                                               | 1,4                                              | 107+                                  |
| MnSO <sub>4</sub>      | 7                                     | 0                                               | 0,9                                              | 446*                                  |
| KCl                    | 134                                   | 0                                               | 0,9                                              | 431*                                  |
| Wollastonita           | 1174                                  | 22                                              | 0,7                                              | 369*                                  |
| Verdete                | 1000                                  | 17                                              | 1,4                                              | 101+                                  |
|                        | 4000                                  | 67                                              | 1,0                                              | 201+                                  |
|                        | 8000                                  | 134                                             | 0,9                                              | 186+                                  |
|                        | 16000                                 | 267                                             | 0,3*                                             | 99+                                   |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                       |                                                 | 0,7                                              | 161                                   |
| CV (%)                 |                                       |                                                 | 44                                               | 39                                    |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Para ambos os solos o teor de Mg apresentou ajuste linear com decréscimo nos valores, sendo que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Mg do Verdete o teor do elemento no solo diminui em 0,1 e 0,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, respectivamente para o RQo e o LVd (Figura 10A). No acúmulo de Mg na parte aérea, não houve modelo ajustado para LVd, mas, sim para o RQo, onde é observado que até 153 mg dm<sup>-3</sup> de Mg (216 mg vaso<sup>-1</sup> de Mg) se tem redução dos valores do elemento acumulado na parte aérea do arroz, característico de tipo

quadrático (Figura 10B). Cabe destacar esse resultado, pois o Verdete como não liberou Mg no solo, por conseguinte houve deficiência do elemento por apresentar valores embaixo ao nível crítico de Mg no solo ( $<0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) (SOSBAI, 2014).

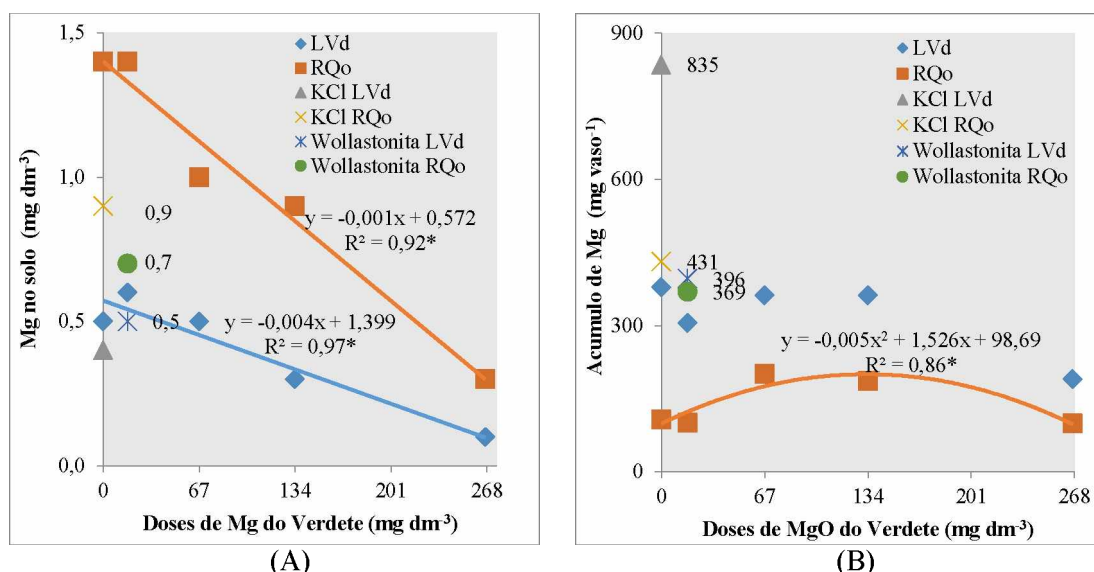


**Figura 10.** Ajustes lineares e quadráticos para o teor de Mg no solo (A) e acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete, e em comparação ao KCl e Wollastonita em dois tipos de solos, LVd e RQo.

Esses resultados foram contraditórios com Duarte (2012) para ambos solos, sendo que no primeiro ciclo de milho encontrou maiores teores de Mg na parte aérea quando aplicado o Verdete em comparação com o KCl. E também com Santos (2013), que indicou no seu trabalho que o KCl apresentou baixo acúmulo de Mg provavelmente pelo antagonismo entre ambos elementos. Sendo assim, as condições de alagamento poderiam ter influenciado, na baixa solubilidade do Verdete que liberou pouco Mg no solo, junto com mudanças químicas no solo, como o possível aumento na concentração de cátions antagonistas ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) do Mg na solução (CAMARGO et al. 1999) poderiam ter reduzido a absorção do elemento pelas plantas.

Cabe ressaltar que para a maioria das variáveis avaliadas, foi observado que o tratamento com Wollastonita apresentou os maiores valores, fato que sem dúvida é atribuído ao Si liberado dessa fonte. Assim, Faria (2000) relata que em arroz, independentemente do tipo do solo, a produtividade aumenta quando aplicadas doses de 0 a 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, indicando que as doses mais elevadas apresentaram maiores produtividades.

No mesmo sentido, Barbosa Filho et al. (2000), indicam que a aplicação de silicato de cálcio no arroz favorece o crescimento e desenvolvimento das plantas, portanto, pode aumentar o rendimento de grãos, graças à correção da acidez dos solos favorece a disponibilidade de nutrientes, aporta de Ca, reduz a acumulação de elementos tóxicos na planta, melhora a eficiência no uso da luz (por gerar folhas mais eretas) e aumenta o número de grãos cheios por panícula.

#### **4 CONCLUSÕES**

Em ambos os solos, o Pan, a MSP, a MSG, a liberação e o acúmulo de Si, K, Ca, Mg e Mn na parte aérea, dos tratamentos com Verdete, não atingiram os patamares observados para os fertilizantes padrões KCl, Wollastonita e  $\text{MnSO}_4$ .

O aumento das doses de Verdete gerou decréscimo no teor de Mg no solo e no acúmulo do nutriente na planta, para ambos os solos, até níveis críticos de deficiência.

O índice de eficiência agrônômica (IEA) e o percentual de K recuperado do Verdete foram superiores no solo LVd em relação ao RQo.

## 5 REFERENCIAS

- ANGHINONI, I.; CARMONA, F. DE C.; JUNIOR S. A. G.; BOENI, M. **Adubação potássica em arroz irrigado conforme a capacidade de troca catiônica do solo.** Pesquisa agropecuária brasileira, 2013. 48(1):1481-1488.
- BARBOSA FILHO, M. P; SNYDER, G. H; FAGERIA N. K; DATNOFF, L. E. & SILVA, O. F. **Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro.** Revista brasileira da ciência do solo, 25(1):325-330.
- BRAGA, A. M. **Eficiência de fontes e doses de fertilizantes contendo silício na adubação do arroz inundado e do sorgo.** 123 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.
- CAMARGO, F. A. DE O; OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, G. DE A. e ZONTA E. **Alterações eletroquímicas em solos inundados.** Revista ciência. Rural. 1999, 29(1):171-180.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DEMG – CFSEMG. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais.** 5 aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- CONAB - companhia nacional de abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira grãos.** V. 3 - SAFRA 2015/16- N. 4 - Quarto levantamento. Brasília, p. 1-154, janeiro 2016.
- DUARTE, I. N. Verdete Calcinado: **Fertilizante alternativo para a agricultura brasileira.** 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos. **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 2. ed., Rio de Janeiro, 2011, 225p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Embrapa Arroz e Feijão.** Brasília, 28 dez. 2004. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/index.htm>. Acesso em 20 novembro de. 2016.
- FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A. S.; BARBOSAFILHO, M. P. & FILIPPI, M.C. **Seja doutor do seu arroz.** Piracicaba, Potafos, 1995. 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9)
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo.** 2000. 125F. Dissertação (Mestrado) Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Viçosa, 2000.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística.** Revista Symposium, Lavras, v.6, p.36-41, 2008.
- GUIMARÃES, C. M.; FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P. **Como a planta de arroz se desenvolve.** Piracicaba: POTAFOS, 2002. 12p (Encarte técnico. Informações Agronômicas, nº 99).

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). **Informações e análises da economia mineral brasileira. Fosfato/Potássio/Fertilizantes**. 6ª edição. p. 16-18, 2011.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, GPSi - ICIAG-UFU. 2004. 50 p.

MARTINS, M. R.; PEREIRA, H. S.; QUEIROZ, A. A. **Comportamento de fontes de silício em quatro solos do cerrado**. Uberlândia, 2004. Disponível em: <[http://www.propp.ufu.br/revistaelectronica/edicao2004/biosauade/comportamento\\_d\\_e\\_fontes.PDF](http://www.propp.ufu.br/revistaelectronica/edicao2004/biosauade/comportamento_d_e_fontes.PDF)>. Acesso em 20 nov. 2016

PEREIRA, G. D.; BERTONI, J. C.; CARVALHO, J. G. & MORAIS, A. R. **Doses e modos de adubação com manganês e seus efeitos na produção da cultura do arroz**. *Revista brasileira da ciência do solo*. 25:625-633. 2001.

PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. A.; CAMARGO, M. S. **Silicon sources for rice crop**. *Scientia agrícola*, v. 61, p. 522-528, 2004.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDÖRFER, G. H. **Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro**. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 27, n. 1, 2003.

PIZA, P. A. DE T.; FRANÇA, S. C. A.; BERTOLINO, L. C. **Verdete Calcinado do Cedro de Abaeté (MG) como fonte alternativa para potássio**. XVII Jornada de Iniciação Científica – CETEM, 2009.

SANTOS, D. S. **Rochagem como alternativa para fornecimento de potássio para as culturas**. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2013.

SILVA, F. DE A. S. E. e AZEVEDO, C. A. V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SOSBAI. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. XXXI Reunião técnica da cultura do arroz irrigado Bento Gonçalves - RS. 200p. 2016

YOSHIDA, S. **Fundamentals of rice crop Science**. Los Baños: IRRI. 1981. 269 p.

## CAPÍTULO II

### RESUMO

#### **Reatividade e eficiência agronômica do Verdete Calcinado farelado e microgranulado em dois tipos de solos no arroz inundado**

A dependência na importação de fertilizantes potássicos tem gerado necessidade de se encontrar fontes alternativas desse nutriente. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência agronômica do Verdete Calcinado nas granulometrias microgranulado e farelado, como fonte de K, Si, Ca e Mg para acultura do arroz inundado em comparação com o KCl e a Wollastonita. Foram conduzidos dois experimentos na casa de vegetação, utilizando-se amostras de LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) e NEOSSOLO QUARTZARÊNIO Órtico (RQo), coletados na profundidade de 0 a 20 cm. Cada experimento foi implantando em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, avaliando-se quatro doses de K<sub>2</sub>O provenientes de cada granulometria de Verdete Calcinado (80, 160, 240 e 320 mg dm<sup>-3</sup>) as quais forneceram simultânea e respectivamente quatro doses de Si (195, 390, 585 e 780 mg dm<sup>-3</sup>). Utilizou-se também três tratamentos adicionais considerados como padrão, sendo 0 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O (KCl), 390 mg dm<sup>-3</sup> de Si (Wollastonita) + 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O (KCl), totalizando assim 11 tratamentos. As fontes foram aplicadas 90 dias antes da semeadura do arroz, que foi realizada em vasos contendo oito kg de solo, com umidade inicial de terra fina seca ao ar (TFSA), a qual foi posteriormente corrigida para, aproximadamente, para 80% da capacidade de campo durante a incubação. Aos 75 dias após a semeadura foi avaliado o perfilhamento (Per) e na colheita as plantas foram cortadas ao nível do solo, as panículas foram separadas e contadas, gerando o resultado de número de panículas (Pan). Todo o material vegetal foi seco em estufa e pesado para determinação da massa seca da parte aérea (MSP) e dos grãos (MSG). Na análise de solo foram determinados o pH e os teores de K, Si, Ca e Mg. As mesmas determinações, exceto o pH, foram feitas no material vegetal e, os resultados obtidos multiplicados pela MSP resultaram no acúmulo desses nutrientes. Também, foram determinados o índice de eficiência agronômica (IEA) relativo ao KCl e à Wollastonita, e o percentual acumulado de potássio. A produção de panículas e a massa seca das plantas de arroz, bem como o IEA, foram superiores para o Verdete Calcinado farelado em relação ao microgranulado, com resultados de maior acúmulo de K, Si e Ca. A aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado reduziu o pH e o teor de Mg no solo, com destaque para o microgranulado que atuou mais intensamente no incremento da acidez.

**Palavras chave:** *Oriza sativa* L., Fertilizantes potássicos, acúmulo de nutrientes, Wollastonita, KCl.

## ABSTRACT

### **Reactivity and agronomic efficiency of Burn Verdete microgranulated and fine-grained granulometry in two types of soils in flooded rice**

The dependence on the importation of potassic fertilizers has generated the need to find alternative sources of this nutrient. The objective of this study was to evaluate the agronomic efficiency of Burn Verdete in microgranulated and fine-grained granulometry as a source of K, Si, Ca and Mg for flooded rice crop compared to KCl and Wollastonite. Two experiments were established in the UFU's greenhouse, using samples of Oxysol Red (LVd) and Ustoxic Quartzipsammit (RQo) collected at depths of 0 to 20 cm. Each experiment was implemented in a randomized complete block design with four replications, evaluating four K<sub>2</sub>O rates from each form of Burn Verdete (80, 160, 240 e 320 mg dm<sup>-3</sup>) that were at the same time four Si rates (195, 390, 585 and 780 mg dm<sup>-3</sup>). Three additional treatments were considered as standards: 0 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O (KCl), 390 mg dm<sup>-3</sup> Si (Wollastonite) + 80 mg dm<sup>-3</sup> K<sub>2</sub>O (KCl), totalizing 11 treatments. The sources were applied 90 days before rice sowing, which was carried out in pots containing eight kg of soil with initial dry air humidity (TFSA), which was later corrected to approximately 80% of field capacity during incubation. At 75 days after sowing, tillering (Per) was evaluated and at harvest date the plants were cut at soil level, the panicles were separated and counted, generating the number of panicles (Pan). All the plant material was oven dried and weighed for determination of shoot dry mass (MSP) and grain (MSG). In the soil analysis, the soil pH and the soil contents of K, Si, Ca and Mg were determined. The same determinations, except pH, were also made in the plant material and the results obtained multiplied by the MSP resulted in the accumulation of these nutrients. Also, the agronomic efficiency index (IEA) relative to KCl and Wollastonite, and the accumulated percentage of potassium, were determined. Panicle production and dry mass of rice plants, as well as the IEA relative to KCl and Wollastonite were higher for the fine-grained Burn Verdete than microgranulated granulometry, showing also evidence of higher K, Si and Ca accumulation. Increasing rates of Burn Verdete evidenced soil pH and soil Mg reduction, with emphasis on the microgranulated Burn Verdete acting more intensely on the soil acidity.

**Keywords:** *Oriza sativa* L., Potassic fertilizers, nutrient accumulation, Wollastonite, KCl.

## 1 INTRODUÇÃO

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos para avaliar a importância da adubação com silício e potássio em gramíneas, especialmente em grandes culturas (arroz e cana-de-açúcar), bem como em pastagens, milheto, etc. (PEREIRA et al. 2002; KORNDÖRFER et al. 2002; DUARTE, 2012 e SANTOS, 2013).

Megel e Kirkby (2001) indicam que o Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e não é considerado um elemento essencial ao não cumprir com os critérios de essencialidade, mas, proporciona melhoras no estado nutricional das plantas, porque reduz a toxidez de ferro, manganês, alumínio e sódio, a taxa de transpiração, e confere resistência a doenças (LIMA FILHO et al. 1999; RODRIGUEZ, 2007).

Especificamente na cultura do arroz o Si aumenta o crescimento e produção, já que tem interação positiva com adubos nitrogenados potássios e fosfatados, aumenta a tolerância a estresse biótico e abiótico, e pode favorecer a produtividade quando reduzida a disponibilidade de água no solo, e na presença de altos níveis de Al, Fe e Mn (SAVANT et al. 1997).

Solos sob vegetação do cerrado altamente intemperizados sofrem processos de dessilicatização, pois o Si é perdido por lixiviação, evidenciando baixos teores do elemento. Sistemas de produção de baixa rotação de culturas também esgotam os depósitos naturais de Si no solo, e quando aplicados silicatos de cálcio e implementados sistemas de rotação de culturas, os resultados têm sido satisfatórios na produtividade de espécies importantes como a cana-de-açúcar (KORNDÖRFER et al. 2002).

Korndörfer et al. (2004) indicam que a Wollastonita, as escórias de siderurgia, o metassilicato de cálcio, o metassilicato de sódio, o cimento, o termofosfato, o silicato de magnésio (serpentinóis), são fontes promissoras de silício para as plantas. Existem outras fontes alternativas de nutrientes provenientes de rochas silicatadas, nesse grupo está o verdete cujo teor de Si total é alto e quando submetido a altas temperatura em mistura com carbonato de cálcio tem evidenciado aumentar a solubilidade dos nutrientes que o compõem (EICHLER; LOPES, 1983).

O Verdete Calcinado, é um fertilizante rico em potássio, proveniente de um processo de calcinação. A rocha é submetida a mais de 1300°C e misturada com carbonatos de cálcio, magnésio e ou silicatos. No processo de produção do Verdete Calcinado o potássio insolúvel da rocha fica disponível, além disso, os compostos adicionados fornecem cálcio, magnésio e silício ao produto final. Por conseguinte, é um

produto que atua como corretivo da acidez do solo, e em comparação com o KCl apresenta ausência de Cl, característica favorável (FRAYHA, 1950).

No processo de produção, são obtidas diversas granulometrias, sendo as formas microgranulado e farelado aquelas que apresentaram melhores resultados nos testes de incubação e biológicos (Duarte, 2012 e Santos, 2013). Considerando que o produto tem sido testado em milheto, cana-de-açúcar, braquiária e não no arroz sob condições de alagamento, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho agrônomo de ambas formas de Verdete Calcinado na cultura do arroz inundado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local dos experimentos

O experimento foi instalado em casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), no período, a partir da incubação, desde o 28/02/2016 até 29/10/2016, em Uberlândia, MG.

Amostras de dois tipos de solos usados nos experimentos se coletaram, na camada de 0-20 cm de profundidade, os quais apresentam as seguintes características físicas e químicas (tabelas 1 e 2).

**Tabela 1.** Análise física dos solos utilizados no estudo.

| Solo                                | Areia Grossa                    | Areia Fina | Silte | Argila |
|-------------------------------------|---------------------------------|------------|-------|--------|
|                                     | ----- g. kg <sup>-1</sup> ----- |            |       |        |
| LVd - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico | 90                              | 43         | 33    | 834    |
| RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico | 626                             | 228        | 1     | 145    |

Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1999).

**Tabela 2.** Análise química dos solos do estudo

| Solo | pH  | Si                  | Al <sup>3+</sup>                               | K <sup>+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | SB   | CTC   | t    | V           | m   | M.O.               |
|------|-----|---------------------|------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------|-------|------|-------------|-----|--------------------|
|      |     | mg dm <sup>-3</sup> | ----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |                |                  |                  |      | ----- |      | ---- % ---- | --- | g kg <sup>-1</sup> |
| LVd  | 4,4 | 6,6                 | 0,7                                            | 0,05           | 0,2              | 0,0              | 0,26 | 7,3   | 0,96 | 4           | 73  | 40                 |
| RQo  | 4,4 | 3,3                 | 1,0                                            | 0,05           | 0,2              | 0,1              | 0,39 | 5,2   | 1,40 | 7           | 71  | 15                 |

Si = CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>; P, K = (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por Al; M.O. = (Walkley-Black - EMBRAPA, 1999).

## 2.2 Caracterização das fontes

Antes da instalação dos experimentos, as fontes utilizadas foram homogeneizadas e posteriormente moídas até passarem 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegada) submetidas a análises (física e química) no laboratório de fertilizantes LAFER do Instituto de Ciências Agrárias da UFU. Os fertilizantes foram caracterizados fisicamente por sua granulometria segundo o tamanho da peneira das normas ABNT 6, 7 e 10 (tabela 3) e em quanto a seus teores de macronutrientes, micronutrientes, Si solúvel e total (tabela 4) conforme metodologia descrita por Embrapa (2011) e Korndörfer et al. (2004).

**Tabela 3.** Caracterização física das fontes testadas

| Fonte                       | Natureza física | Especificações granulométricas (mm) |
|-----------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| Wollastonita (padrão de Si) | Pó              | < 2                                 |
| KCl (padrão de K)           |                 |                                     |
| Verdete Calcinado           | Farelado        | 0,5 a 3,3                           |
|                             | Microgranulado  | 1,0 a 2,8                           |

**Tabela 4.** Caracterização química das fontes testadas

| Fonte             | K <sub>2</sub> O               |          | Ca  | Mg*** | Si    |           | Fe | Mn  |  |  |  |  |
|-------------------|--------------------------------|----------|-----|-------|-------|-----------|----|-----|--|--|--|--|
|                   | Total                          | Solúvel* |     |       | Total | Solúvel** |    |     |  |  |  |  |
|                   | ----- g kg <sup>-1</sup> ----- |          |     |       |       |           |    |     |  |  |  |  |
|                   | -----                          |          |     |       |       |           |    |     |  |  |  |  |
| Wollastonita      | -                              | -        | 303 | 11    | 230   | 120       | -  | -   |  |  |  |  |
| KCl               | 600                            | 600      | -   | -     | -     | -         | -  | -   |  |  |  |  |
| Verdete Calcinado | 70                             | 50       | 200 | 30    | 170   | 37        | 30 | 0,5 |  |  |  |  |

\* KCl = solúvel em água. VERDETE CALCINADO = solúvel em ácido cítrico 2%, 1:500; \*\* Solúvel em NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>; \*\*\* Solúvel em HCl.

## 2.3 Condução dos experimentos

### 2.3.1 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos inteiramente casualizados (DBC) com quatro repetições, para ambos experimentos, cujos tratamentos são apresentados na tabela 5. As parcelas foram constituídas de vasos brancos plásticos de 10 L de capacidade onde foram adicionados os 8 dm<sup>-3</sup> de terra fina seca ao ar (TFSA) previamente incubada.

A dose de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O foi definida a causa do ambiente limitado para desenvolvimento das plantas em vasos, assim, corresponde ao dobro da recomendação de

K<sub>2</sub>O dada por Raij et al. (1996) para arroz inundado, em solos com baixo teor do elemento. Por conseguinte, os tratamentos foram definidos como doses crescentes de K<sub>2</sub>O a partir de 80 mg dm<sup>-3</sup> (tabela 5). O tratamento com Wollastonita (390 mg dm<sup>-3</sup> de Si) foi definido pela quantidade de Si total fornecida na dose intermediária do fertilizante testado.

**Tabela 5.** Tratamentos

| Tratamento                             | Doses                          |                  |     |                     |                     |
|----------------------------------------|--------------------------------|------------------|-----|---------------------|---------------------|
|                                        | Fertilizante                   | K <sub>2</sub> O | Si  | CaCO <sub>3</sub> * | MgCO <sub>3</sub> * |
|                                        | -----mg dm <sup>-3</sup> ----- |                  |     |                     |                     |
| Testemunha                             | 0                              | 0                | 0   | 2320                | 480                 |
| KCl                                    | 134                            | 80               | 0   | 2320                | 480                 |
| Wollastonita                           | 1695                           | 80               | 390 | 1035                | 415                 |
| Verdete<br>Calcinado<br>microgranulado | 1143                           | 80               | 195 | 1740                | 360                 |
|                                        | 2286                           | 160              | 390 | 1160                | 240                 |
|                                        | 3429                           | 240              | 585 | 580                 | 120                 |
|                                        | 4572                           | 320              | 780 | 0                   | 0                   |
| Verdete<br>Calcinado<br>farelado       | 1143                           | 80               | 195 | 1740                | 360                 |
|                                        | 2286                           | 160              | 390 | 1160                | 240                 |
|                                        | 3429                           | 240              | 585 | 580                 | 120                 |
|                                        | 4572                           | 320              | 780 | 0                   | 0                   |

\*Quantidade de CaCO<sub>3</sub> e MgCO<sub>3</sub> para equilibrar o Ca e o Mg fornecido pelas fontes testadas e elevar a saturação de bases, a valores próximos a 90% para o solo arenoso e 70% no solo argiloso.

### 2.3.2 Semeadura e adubação

90 dias antes da semeadura, os solos receberam quantidades suficientes de N e P de forma que não fosse um fator limitante, sendo assim aplicados 200 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> respectivamente, provenientes de sulfato de amônio e superfosfato triplo. Os micronutrientes foram fornecidos via solução nas doses de 3,6; 1,5; 5,0; 0,5 e 0,05 mg dm<sup>-3</sup> de Mn, Cu, Zn, B e Mo provenientes das fontes MnSO<sub>4</sub>.4H<sub>2</sub>O, CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O; ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O; H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> e (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>.4H<sub>2</sub>O (Pereira et al. 2003).

As sementes da cultivar BRS Atalanta, foram semeadas na profundidade de 2 cm, distribuindo-se 15 sementes viáveis por vaso. Após a emergência das sementes foi efetuado o desbaste, deixando 6 plantas por vaso. Aos 15 e 30 dias após semeadura (DAS), foi realizada a adubação de cobertura com 100 mg dm<sup>-3</sup> de nitrogênio, utilizando o sulfato de amônio (Pereira et al. 2003).

### **2.3.3 Manejo integrado da cultura**

Durante os 130 dias de duração do ciclo de cultivo, foram levados em consideração todos os manejos necessários para evitar interferências nos resultados. Foi mantida uma lâmina de água maior a 3 mm em todas as parcelas para todo o ciclo, e suspensão a irrigação 15 dias antes da colheita como recomendado por Fagundes (2007).

Aos 55 DAS foi feita uma aplicação do produto Actara<sup>®</sup> (Thiametoxam 250 g kg<sup>-1</sup>) nas doses de 1 g L<sup>-1</sup>, para o controle de pulgões. Por ocorrência de brusone (*Pyricularia oryzae*) aos 65 DAS foi aplicado o fungicida Score flexi<sup>®</sup> na dose de 0,5 ml L<sup>-1</sup> de água, junto com mancozebe (700 g kg<sup>-1</sup>) nas doses de 20 g L<sup>-1</sup> de água.

## **2.4 Avaliações**

### **2.4.1 Parte aérea**

30 dias antes da colheita das plantas, foi avaliado o número de perfilhos (Per) de cada parcela. Já ao término do cultivo, foram separadas e contadas as panículas para determinar o número de panículas (Pan) por parcela. Seguidamente, folhas caules foram cortados com auxílio de uma tesoura de mão, e posteriormente ambas partes foram condicionadas em sacos de papel e levadas para a estufa a 65° C, para secagem. Após secas foram retiradas da estufa, onde a parte aérea das plantas foi pesada para obtenção da massa seca da parte aérea (MSP). E também foram passadas as panículas para determinação da massa seca dos grãos (MSG) de cada parcela.

### **2.4.2 Análises de solo**

Após a colheita da parte aérea, foram retiradas amostras de solo de cada vaso (5 pontos), com auxílio de um "mini-trado". Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas e secas em estufa a 45°C por 24 horas para secagem. Foram feitas análises químicas do solo que consistiram na determinação de Si seguindo a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004), K (solução Mehlich-1 e resina), Ca, Mg, Mn (Solução Mehlich-1) e pH (em CaCl<sub>2</sub>) de acordo com a metodologia da Embrapa (2011).

### 2.4.3 Índice de eficiência agronômica (IEA)

Com os dados de MSP do arroz, foi calculado o Índice de Eficiência Agronômica (IEA) das fontes para cada tipo de solo, dose segundo a equação:

$$IEA(\%) = \frac{MSP \text{ da fonte testada(Verdete Calcinado)} - MSP \text{ da testemunha}}{MSP \text{ do tratamento controle(KCl)} - MSP \text{ da testemunha}} * 100$$

### 2.5.4. Percentual de recuperado

Com a soma dos nutrientes acumulado na parte aérea, calculou-se a recuperação dos nutrientes proveniente das fontes segundo a equação abaixo:

$$K \text{ recuperado } (\%) = \frac{K \text{ acumulado da fonte(Verdete Calcinado)} - K \text{ acumulado da testemuha}}{K \text{ aplicado no solo}} * 100$$

## 2.6 Análises estatística

Inicialmente, foram testadas as pressuposições estatísticas, onde se determinou se os dados apresentavam resíduos com distribuição normal, variâncias homogêneas e feito aditivo entre blocos, com o programa SSPS Statistics 17.0. Seguidamente, os dados que não atenderam as pressuposições foram transformados. Após, empregando-se o programa estadístico SISVAR (FERREIRA, 2008), foram realizados os análises de variância aplicando-se o teste de F a 0,05 de significância, junto com a análise de regressão polinomial para os tratamentos quantitativos. Cada tratamento foi comparado com a testemunha sem aplicação (0 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O) e com a aplicação de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O proveniente do Cloreto de potássio, pelo teste de Dunnett a 0,05 de significância (SILVA; AZEVEDO, 2009). Finalmente com o SISVAR, analisou-se contrastes não ortogonais para aqueles tratamentos cujas doses de nutrientes foram iguais.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 LATOSSOLOVERMELHO Distrófico (LVd)

##### 3.1.1 Número perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG)

O perfilhamento do arroz para todas as doses e fontes de avaliadas apresentou desempenho similar (Tabela 6), sem modelo ajustado (figura 1A). De acordo com Prudente de Assis et al. (2000) o K e o Si são elemento não influenciam significativamente no perfilhamento. Fagueira (1984) afirma que o N, P e S são os nutrientes mais necessários para o perfilhamento do arroz, no presente trabalho tais nutrientes foram incorporados nas mesmas quantidades em todos tratamentos.

**Tabela 6.** Número perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd.

| Tratamento                          | Doses de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | Per | Pan | MSP<br>----- (g) | MSG<br>----- |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|-----|-----|------------------|--------------|
| Testemunha                          | 0                                                | 35  | 21+ | 30,1+            | 6,3+         |
| KCl                                 | 80                                               | 35  | 35* | 64,5*            | 21,2*        |
| Wollastonita                        | 80                                               | 36  | 39* | 73,1*            | 27,3*        |
| Verdete Calcinado<br>microgranulado | 80                                               | 35  | 32  | 45,7+            | 14,5         |
|                                     | 160                                              | 37  | 32  | 56,9*            | 16,1         |
|                                     | 240                                              | 38  | 33  | 58,2*            | 22,8*        |
|                                     | 320                                              | 40  | 38* | 69,1*            | 24,3*        |
| Verdete Calcinado<br>farelado       | 80                                               | 33  | 31  | 53,8*            | 18,5         |
|                                     | 160                                              | 31  | 37* | 57,9*            | 19,4*        |
|                                     | 240                                              | 37  | 37* | 71,5*            | 23,2*        |
|                                     | 320                                              | 37  | 38* | 85,0*+           | 32,0*        |
| DMS <sub>Dunnett</sub>              |                                                  | 11  | 12  | 17,4             | 12,2         |
| CV(%)                               |                                                  | 15  | 18  | 14               | 29           |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Por outro lado, o número de panículas nas doses de 160, 240 e 320 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete Calcinado farelado, a 320 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do microgranulado, assim como os tratamentos padrões, mostraram desempenho agrônômico superior ao da testemunha, sem aplicação (tabela 6). Em relação às regressões, as taxas de crescimento de ambas formas de Verdete Calcinado avaliadas, foram similares, mas, foi maior no farelado. Assim para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O o aumento em panículas foi de 5,0 e para o microgranulado de 4,2 (Figura 2B).

Na MSP e na MSG, quase todos os tratamentos com Verdete Calcinado, em ambas granulometrias superaram a testemunha, esta última foi menos eficiente que o KCl nas variáveis já mencionadas. Destaca-se, que na maior dose de Verdete Calcinado farelado foi apresentado o maior ganho de massa seca, o qual foi superior ao KCl, fato possivelmente explicado pela alta dose de Si aportado por esse tratamento e bem evidenciado pelas plantas (tabela 6, figuras 2A e 2B).

Esses resultados são corroborados por Duarte (2012), onde em um solo argiloso da mesma classificação, verifica-se que o Verdete Calcinado nas doses de 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O apresentou desempenho agrônômico semelhante ao KCl após 34 dias da aplicação na cultura do milho, e ao dobrar essa dose para 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, o Verdete Calcinado foi superior ao padrão KCl.

Por outra parte, nos primeiros trabalhos com Verdete, feitos por Eichler e Lopes (1983) foi avaliado na cultura do milho o Verdete Calcinado, produzido a partir da calcinação da rocha a 1100°C e que foi misturada com carbonato de cálcio, nesse trabalho massa seca das plantas apresentou valores similares ao tratamento com KCl para o primeiro ciclo da cultura.

Na figura 1, observa-se que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete calcinado, a MSP e a MSP na forma farelada, incrementa-se em 11,4 g e em 5,6 g, incrementos maiores aos evidenciados nos tratamentos com microgranulado, que foram de 8,0 e 3,5 g, respectivamente (figuras 1C e 1D).

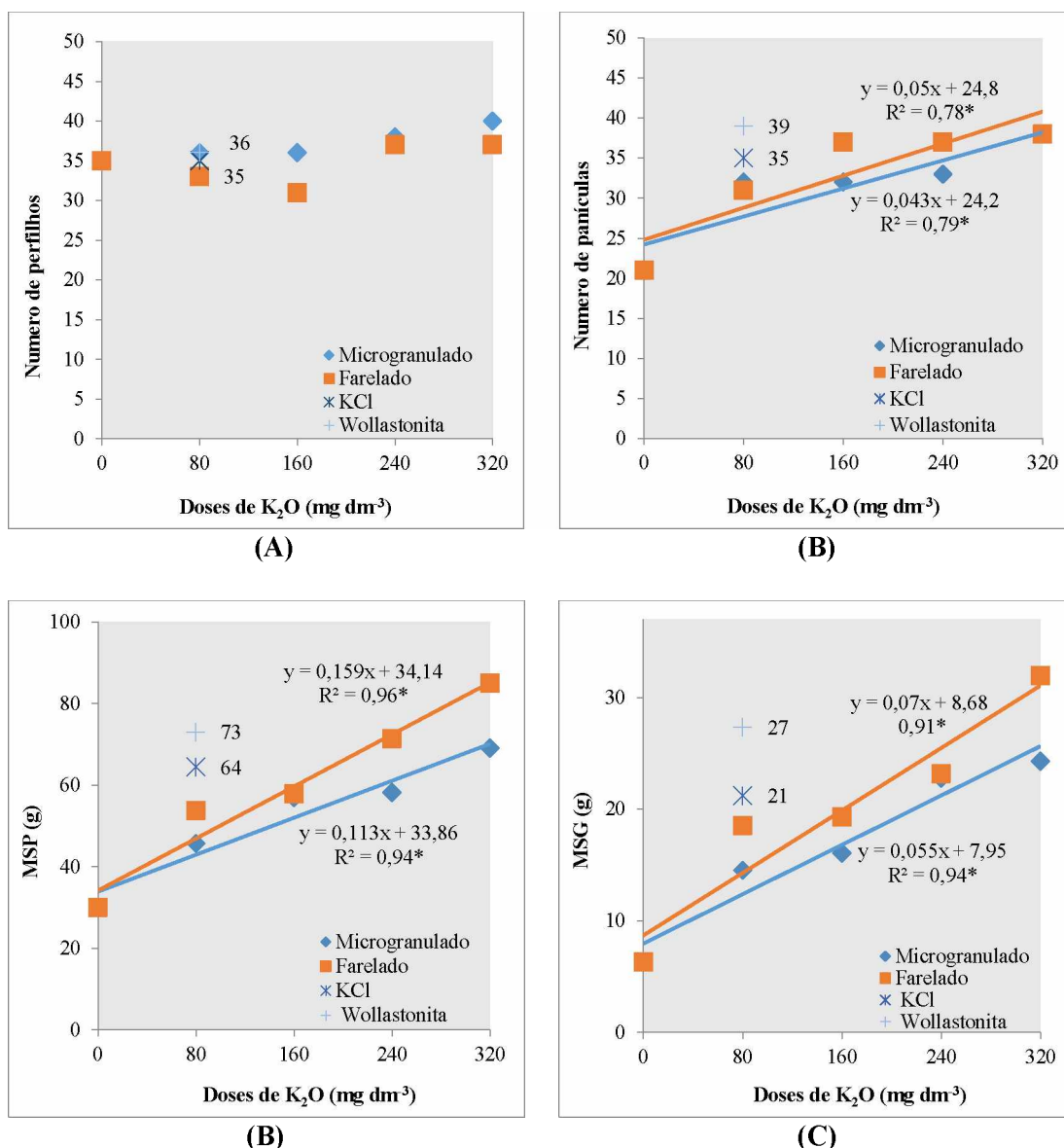
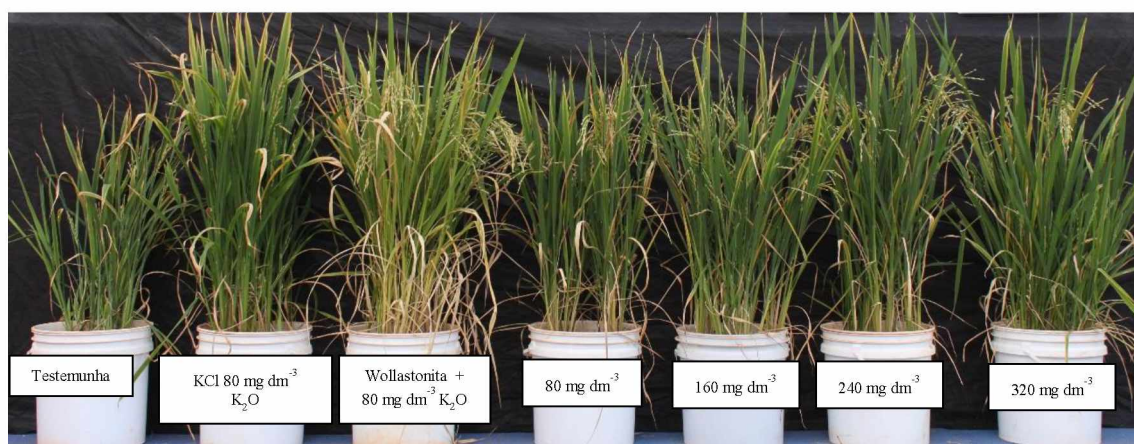
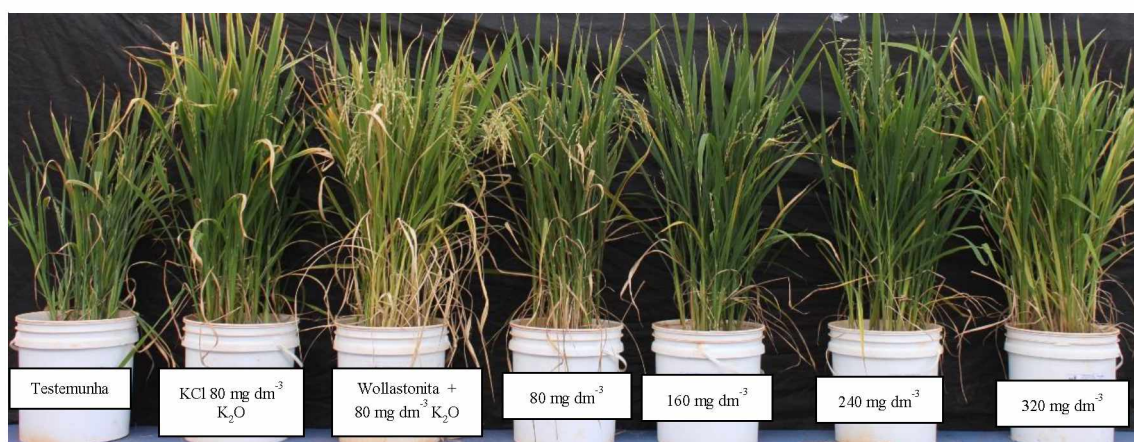


**Figura 1.** Número de perfilhos (A) e ajustes lineares para número de panículas (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca dos grãos (D) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação as fontes KCl e Wollastonita, no LVd

Como evidenciado na figura 2, o desenvolvimento das plantas dos tratamentos padrões de KCl e Wollastonita foi maior que ao aplicar o Verdete calcinado microgranulado (figura 2A). Nos tratamentos com Verdete Calcinado farelado, a morfologia das plantas é semelhante aos tratamentos padrões, dessa maneira, a menor granulometria do produto proporcionou maior crescimento, o que pode ser justificado pela sua maior disponibilidade de nutrientes para as plantas de arroz (figura 2B).



(A)



(B)

**Figura 2.** Desenvolvimento de plantas de arroz 90 dias após semeadura, em função da aplicação de KCl, Wollastonita e Verdete calcinado microgranulado (A) e farelado (B), no LVd.

Somente para MSP, os tratamentos com KCl e Wollastonita apresentaram maior desempenho, assim, cabe salientar que o Verdete Calcinado foi capaz de fornecer nutrientes para o desenvolvimento das plantas, embora, em quantidades menores aos padrões que tiveram maior aporte justificado em um melhor crescimento (tabela 7).

**Tabela 7.** Contrastes dos tratamentos com aplicação de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O e 390 mg dm<sup>-3</sup> de Si no LVd.

| Contraste                                                            | Per       |       |      | Pan       |       |      | MSP(g)    |       |       | MSG(g)    |       |      |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|-------|------|-----------|-------|------|-----------|-------|-------|-----------|-------|------|
|                                                                      | $\hat{y}$ | t     | Pr   | $\hat{y}$ | t     | Pr   | $\hat{y}$ | t     | Pr    | $\hat{y}$ | t     | Pr   |
| KCl vs<br>Verdete Calcinado<br>microgranulado e<br>farelado          | -0,25     | -0,10 | 1,00 | 13,43     | -0,92 | 1,00 | -14,71    | -2,83 | 0,63* | -4,68     | -1,30 | 0,99 |
| Wollastonita vs<br>Verdete Calcinado<br>microgranulado e<br>farelado | 2,62      | -0,79 | 1,00 | -4,37     | -1,19 | 0,99 | -15,69    | -3,05 | 0,54* | -9,65     | -2,64 | 0,72 |

$\hat{y}$ : estimativa de contraste; t: estatística do teste de "t-Student".\* significativo pelo teste de Scheffé a 0,10 de significância.

### 3.1.2 Índice de eficiência agronômica

A menor granulometria do produto, favoreceu a eficiência agronômica do Verdete Calcinado, com IEA de 45% no microgranulado e 69% no farelado, sendo assim, as plantas acumularam maior quantidade de massa seca com o uso do produto na forma farelada. Diante disso, a solubilidade foi um fator determinante no IEA do Verdete Calcinado (figura 3).

No trabalho com milho de Duarte (2012) indica-se que em um solo argiloso LVd, a aplicação de Verdete Calcinado apresentou um IEA 28% superior ao KCl, mas, nesse trabalho foram avaliados dois ciclos sucessivos de milho, onde a residualidade do K da fonte pode ter sido marcante, em quando no presente trabalho somente foi estudado um ciclo de arroz de 130 dias, assim, o tempo mediu nesse parâmetro que evidenciou menores valores em ambas fontes.

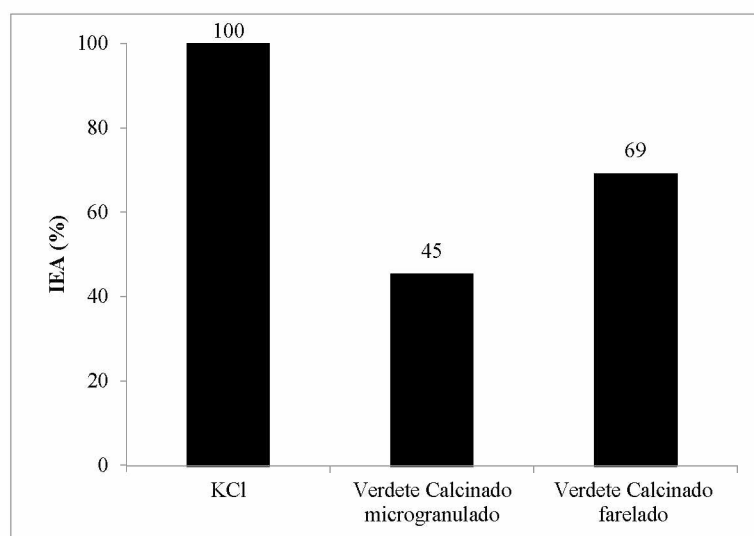


**Figura 3.** Índice de eficiência agronômica do Verdete Calcinado microgranulado e farelado, com relação ao KCl, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz.

Quando avaliado o IEA do Verdete Calcinado com relação à Wollastonita, ambas formas do produto apresentaram valores próximos, sendo 62% para microgranulado e de 65% para o farelado. Isto indica que ao aplicar 100 kg de Si no solo proveniente de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, entre 62 e 65 kg de Si serão liberados ao solo de forma semelhante à Wollastonita (figura 4).

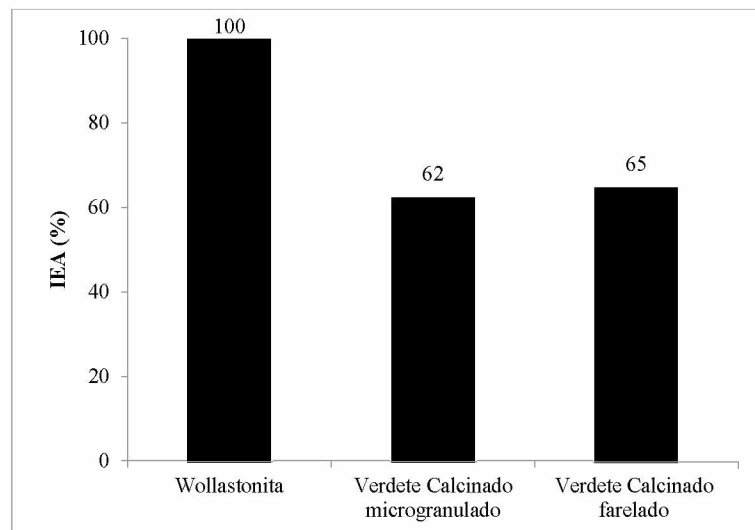


**Figura 4.** Índice de eficiência agrônômica do Verdete Calcinado microgranulado e farelado, com relação à Wollastonita, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz semeado no LVd.

### 3.1.3 Silício no solo e acumulado

Tanto no Si no solo como no acumulado, a partir de 1,5 vezes a dose padrão (585 mg dm<sup>-3</sup> de Si), quando aplicado Verdete Calcinado microgranulado, evidenciou maior desempenho junto com a Wollastonita, em comparação à testemunha. Na mesma forma, a partir de 390 mg dm<sup>-3</sup> de Si quando aplicado o farelado. Diante do exposto, as fontes testadas foram eficientes em incrementar o teor de Si no solo, e o Si acumulado na parte aérea nas plantas de arroz (tabela 8).

**Tabela 8.** Teor de Si no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd.

| <b>Tratamento</b>      | <b>Doses de Si<br/>mg dm<sup>-3</sup></b> | <b>Si no solo</b> | <b>Si acumulado<br/>mg vaso<sup>-1</sup></b> |
|------------------------|-------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                         | 4,3               | 377                                          |
| KCl                    | 0                                         | 3,6               | 584                                          |
| Wollastonita           | 390                                       | 9,0*              | 1661*                                        |
|                        | 195                                       | 5,2               | 867                                          |
| Verdete Calcinado      | 390                                       | 5,7               | 989                                          |
| microgranulado         | 585                                       | 6,3*              | 1226*                                        |
|                        | 780                                       | 6,3*              | 1910*                                        |
|                        | 195                                       | 6,0               | 947                                          |
| Verdete Calcinado      | 390                                       | 6,6*              | 1289*                                        |
| farelado               | 585                                       | 7,0*              | 1879*                                        |
|                        | 780                                       | 8,3*              | 2383*                                        |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                           | 1,9               | 843                                          |
| CV(%)                  |                                           | 15                | 32                                           |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade, em relação à testemunha (\*).

Ramos et al. (2009) ao aplicar doses crescentes de Wollastonita em um LVd, evidenciou resultados similares, pois a Wollastonita foi superior à testemunha no incremento do teor de Si no solo. Assim, neste trabalho também é destacada a Wollastonita como a fonte que mais incremento o teor de Si no solo (tabelas 8).

Foram observados incrementos lineares para ambos parâmetros, sendo que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Si proveniente do Verdete Calcinado, aumentou-se 0,27 e 0,46 mg dm<sup>-3</sup> de Si no solo, no acúmulo os aumentos foram de 176 e 254 mg vaso<sup>-1</sup> para microgranulado e farelado, respectivamente. Sendo taxas maiores de crescimento quando utilizado o farelado para ambas variáveis (Figura 5A e 5B), diante disso quando maior foi a dose aplicada de Si proveniente do verdete calcinado também foi maior o acúmulo do elemento nas plantas de arroz.

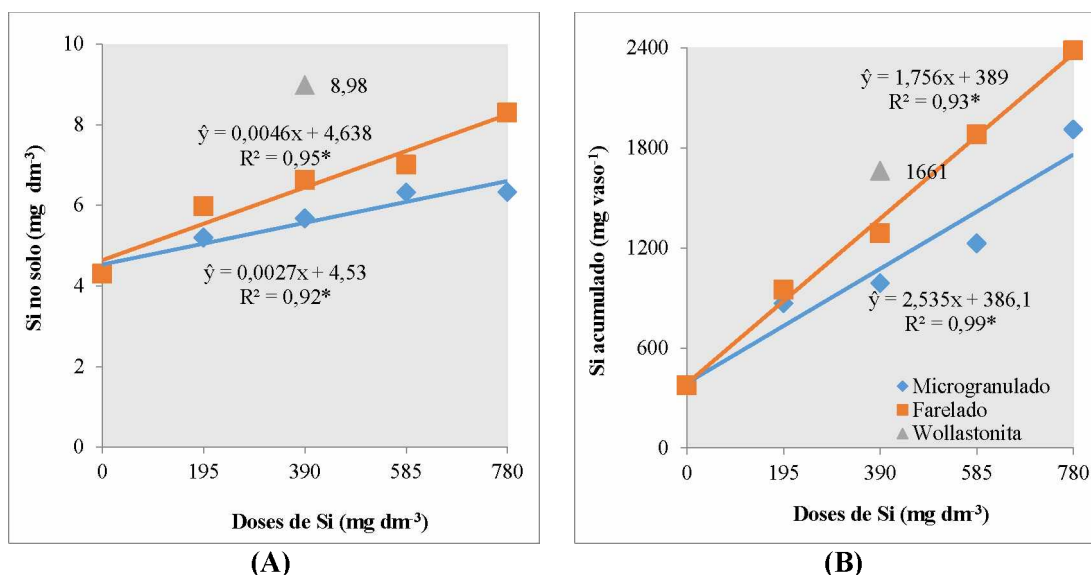


**Figura 5.** Ajustes lineares para o teor de Si no solo (A), Si acumulado na parte área de plantas de arroz (B), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação com a Wollastonita no LVd.

Santos (2013) encontrou os maiores teores de Si no solo quando aplicado o Verdete Calcinado granulado e farelado, no presente trabalho além do produto testado, Wollastonita na mesma dose de Si também foram superiores em relação à testemunha. O aumento linear no teor de Si no solo e acumulado na parte aérea, é corroborado por Rodriguez (1997) que ao aplicar doses crescente de Wollastonita em cana-de-açúcar plantada em um LATOSSOLO VERMELHO.

No teste de contraste é confirmado que A Wollastonita, foi mais eficiente que ambas formas de Verdete Calcinado em aumentar o teor de Si no solo (tabela 9).

**Tabela 9.** Contrastes dos tratamentos com de aplicação 390 mg dm<sup>-3</sup> de Si no LVd.

| Contraste                                              | Si no solo |       |        | Si acumulado |      |       |
|--------------------------------------------------------|------------|-------|--------|--------------|------|-------|
|                                                        | $\hat{y}$  | t     | Pr     | $\hat{y}$    | t    | Pr    |
| Wollastonita vs Verdete Calcinado granulado e farelado | -2,82      | -5,01 | 0,025* | -522,4       | -2,1 | -0,92 |

$\hat{y}$ : estimativa de contraste; t: estatística do teste de "t-Student".\* significativo pelo teste de Scheffé a 0,10 de significância.

### 3.1.4 Potássio no solo e na parte área

A determinação de K no solo utilizando o extrator mehlich-1, evidenciou que após dobrar e triplicar a dose de  $K_2O$  na aplicação do Verdete Calcinado microgranulado e farelado, respectivamente, os teores do elemento no solo foram superiores que os evidenciados pelo KCl, ademais  $320 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $K_2O$  provenientes do farelado foi o único tratamento superior à testemunha, ao tratamento com KCl, e ao nível crítico do elemento ( $70 \text{ mg dm}^{-3}$ ) indicado pela CFSEMG (1999).

Com o extrator resina, somente para a maior dose de  $K_2O$  proveniente do microgranulado, o teor de K no solo superou ao KCl (tabela 10) é se encontra entre o teor médio de K ( $1,5$  a  $3,0 \text{ mmolc dm}^{-3}$ ) indicado por Raij et al. (1996) ( $70,5 \text{ mg dm}^{-3}$  equivale a  $1,8 \text{ mmolc dm}^{-3}$  de K).

Se comparados ambos métodos de determinação de K no solo, em geral, maiores valores do elemento são mostrados quando utilizada a solução mehlich-1, isto concorda com Duarte (2012) quem indicar que esse método pode superestimar o K no solo, tendo em realidade menor quantidade do nutriente disponível no solo para as plantas.

Os baixos valores de K ( $16,6$  e  $16 \text{ mg dm}^{-3}$ ) dados por ambos métodos, no tratamento com KCl, podem estar relacionados com a rápida disponibilidade de K do KCl ao solo, assim a planta absorveu grande quantidade do elemento e esgotou as reservas do mesmo.

O acúmulo de K na parte área do arroz, evidenciou superioridade em comparação à testemunha nas maiores doses de  $K_2O$  provenientes da fonte testada, e inferior ao KCl quando incorporado  $80 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $K_2O$  do produto, mesmo a testemunha, já a maior dose do farelado evidenciou ser superior ao KCl (tabela 10).

Da mesma maneira, foi constatado por Duarte (2012) no LVd, pois nas doses análogas de KCl e Verdete Calcinado, o acúmulo do elemento na parte foliar, foi superior quando aplicado KCl, portanto o Verdete Calcinado demonstrou menor eficiência que o KCl no aporte de K para a planta. Para ter uma eficiência similar ao KCl no primeiro ciclo do arroz, as doses de  $K_2O$  do Verdete Calcinado microgranulado devem ser triplicadas e duplicadas para o farelado (tabela 10).

**Tabela 10.** Teor de K no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd.

| Tratamento                       | Doses de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | K no solo mehlich-1<br>mg dm <sup>-3</sup> | K no solo resina | K acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------|--------------------------------------|
| Testemunha                       | 0                                                | 38                                         | 29               | 152+                                 |
| KCl                              | 80                                               | 17                                         | 16               | 587*                                 |
| Wollastonita                     | 80                                               | 14                                         | 15               | 467*                                 |
| Verdete Calcinado microgranulado | 80                                               | 19                                         | 21               | 197+                                 |
|                                  | 160                                              | 61+                                        | 50               | 362                                  |
|                                  | 240                                              | 69+                                        | 49               | 462*                                 |
|                                  | 320                                              | 61+                                        | 71+              | 516*                                 |
| Verdete Calcinado farelado       | 80                                               | 24                                         | 21               | 282+                                 |
|                                  | 160                                              | 53                                         | 30               | 434*                                 |
|                                  | 240                                              | 71+                                        | 28               | 549*                                 |
|                                  | 320                                              | 91*+                                       | 31               | 861*+                                |
| DMS <sub>Dunnett</sub>           |                                                  | 42                                         | 43               | 258                                  |
| CV(%)                            |                                                  | 43                                         | 64               | 28                                   |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Quando avaliados os teores de K no LVd, com o extrator mehlich-1 o modelo ajustado foi de tipo linear no Verdete Calcinado farelado, de forma que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O o teor de K no solo aumentou 19 mg dm<sup>-3</sup>(figura 6A). Na avaliação com resina também houve ajuste de modelo linear na aplicação do microgranulado, assim para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O o teor de K no solo aumentou 14 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 6B).

Com respeito ao acúmulo do elemento, ambas formas de Verdete Calcinado evidenciaram modelos ajustados de tipo linear, pois para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O o acúmulo de K na parte área incrementou 124 e 210 mg vaso<sup>-1</sup> no microgranulado e farelado, respectivamente (figura 6C).

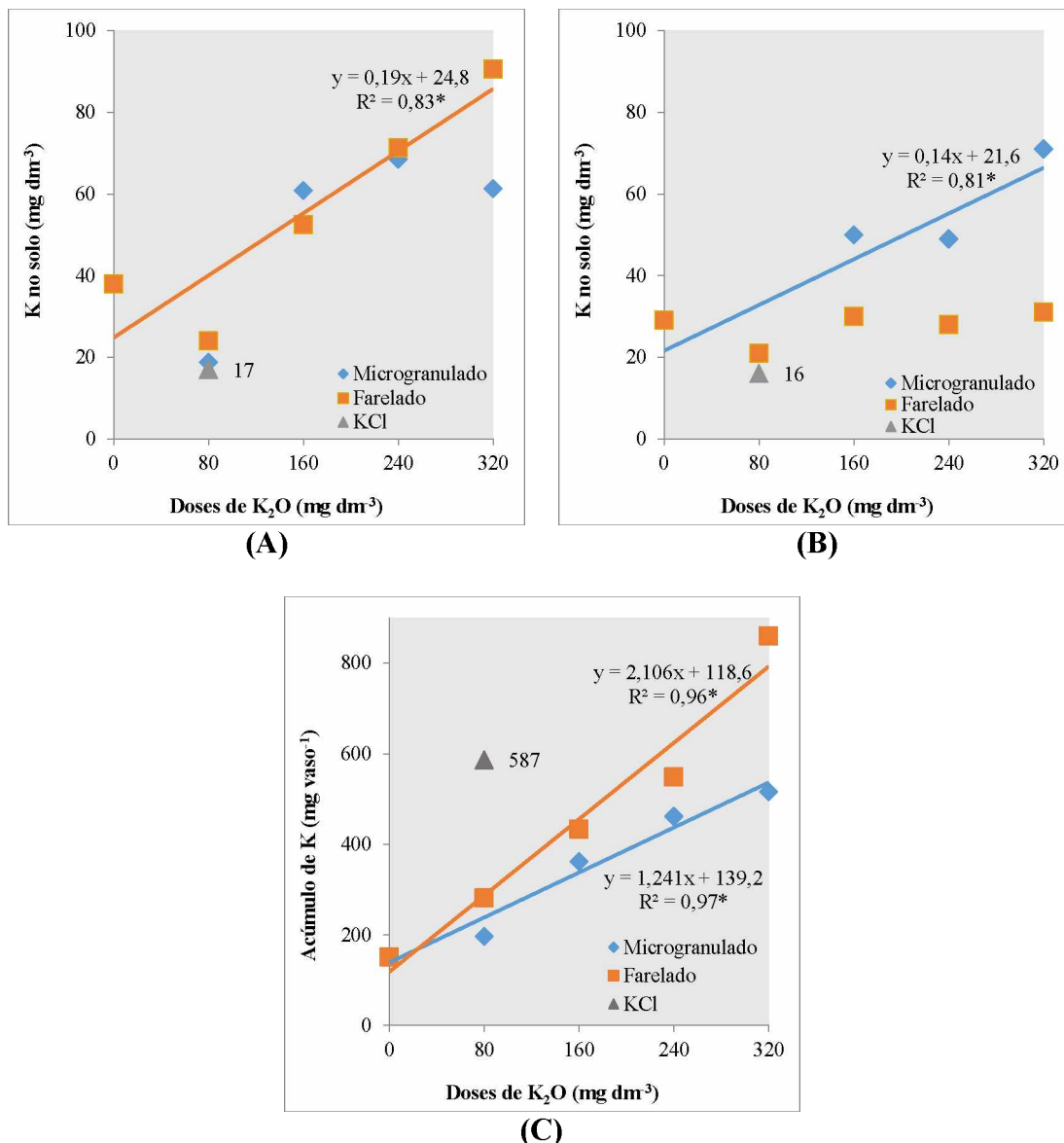


**Figura 6.** Ajustes lineares do teor de K no solo determinados por Mehlich-1 (A), Resina (B) e K acumulado na parte aérea de plantas de arroz (C), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação o KCl no LVd.

O teste de contrastes para o acúmulo de K na parte aérea, confirma que o KCl foi mais eficiente em proporcionar o elemento para a planta que o Verdete Calcinado, em qualquer granulometria (tabela 11).

**Tabela 11.** Contrastes dos tratamentos com aplicação de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O no LVd

| Contraste                                                | K mehlich-1 |      |      | K resina  |      |      | K acumulado |       |       |
|----------------------------------------------------------|-------------|------|------|-----------|------|------|-------------|-------|-------|
|                                                          | $\hat{y}$   | t    | Pr   | $\hat{y}$ | t    | Pr   | $\hat{y}$   | t     | Pr    |
| KCl vs<br>Verdete Calcinado<br>farelado e microgranulado | 4,62        | 0,37 | 1,00 | 4,75      | 0,37 | 1,00 | -347        | -4,51 | 0,06* |

$\hat{y}$ : estimativa de contraste; t: estatística do teste de "t-Student". \* significativo pelo teste de Scheffé a 0,10 de significância.

Cabe ressaltar que em todos os tratamentos com a dose de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O independente da fonte, mostraram teores baixos de K no solo (Tabela 10), porém, apresentaram resposta no crescimento e produção de grãos (Tabela 6), como indica Scivittaro et al. (1997) que as respostas na cultura com doses relativamente baixas do potássio. No entanto, em função das doses crescentes da fonte testada, as plantas aumentaram sua performance, sendo superior nas maiores dosagens de K<sub>2</sub>O proveniente do Verdete Calcinado (figuras 2A e 2B).

### 3.1.5 Percentual recuperado de potássio

Na figura 8, evidencia-se que do total de potássio aplicado ao solo proveniente do KCl, 68% foi absorvido pelas plantas, e apenas 7 e 20% quando utilizado Verdete Calcinado microgranulado e farelado, respectivamente. Dessa maneira, a fonte testada sendo menos solúvel disponibilizou menor quantidade do elemento para o arroz (figura 7).

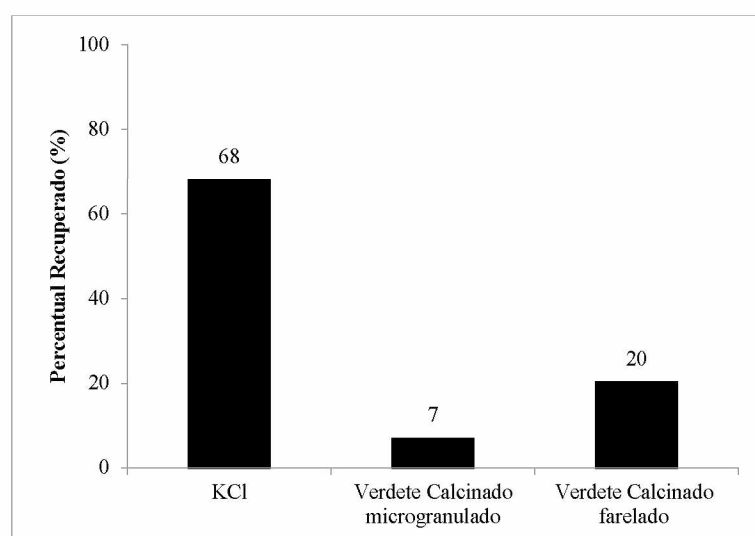


**Figura 7.** Percentual de potássio recuperado pelo arroz, calculado com base no potássio acumulado na parte aérea no LVd.

### 3.1.6 pH, Cálcio no solo e na parte aérea

Na tabela 12, verifica-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos para o pH e Ca no solo. A maior dose de Verdete Calcinado farelado evidenciou acúmulo de Ca superior à fonte padrão KCl.

Esses resultados eram esperados, pela quantidade de  $\text{CaCO}_3$  fornecida para equilibrar os teores do elemento no solo (tabela 5). Santos (2013), encontrou que o Verdete Calcinado em pó, evidenciou maior acúmulo de cálcio que a testemunha, na maior dose de Ca proveniente do produto ( $915 \text{ mg dm}^{-3}$ ). Dessa forma, com menores doses de Verdete Calcinado, em relação ao arroz, o milho foi mais eficiente em acumular Ca na parte aérea.

**Tabela 12.** pH, Ca no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd.

| Tratamento                       | Doses da fonte<br>$\text{mg dm}^{-3}$ | Doses de CaO da fonte<br>$\text{mg dm}^{-3}$ | pH  | Ca no solo<br>$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ | Ca acumulado<br>$\text{mg vaso}^{-1}$ |
|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|-----|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha                       | 0                                     | 0                                            | 4,6 | 3,1                                           | 413                                   |
| KCl                              | 134                                   | 0                                            | 4,8 | 2,8                                           | 929                                   |
| Wollastonita                     | 1695                                  | 507                                          | 4,7 | 2,7                                           | 870                                   |
| Verdete Calcinado microgranulado | 1143                                  | 325                                          | 4,7 | 2,4                                           | 552                                   |
|                                  | 2286                                  | 650                                          | 4,6 | 2,3                                           | 584                                   |
|                                  | 3429                                  | 735                                          | 4,5 | 2,3                                           | 765                                   |
|                                  | 4572                                  | 1300                                         | 4,7 | 2,0                                           | 578                                   |
| Verdete Calcinado farelado       | 1143                                  | 325                                          | 4,6 | 2,4                                           | 556                                   |
|                                  | 2286                                  | 650                                          | 4,6 | 2,3                                           | 670                                   |
|                                  | 3429                                  | 735                                          | 4,5 | 2,1                                           | 626                                   |
|                                  | 4572                                  | 1300                                         | 4,5 | 2,4                                           | 1067*                                 |
| DMS <sub>Dunnett</sub>           |                                       |                                              | 0,5 | 1,1                                           | 535                                   |
| CV (%)                           |                                       |                                              | 6   | 32                                            | 37                                    |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Não foi apresentada a gráfica de pH, sendo valores muito semelhantes em todos os tratamentos (tabela 12). Houve um ligeiro decréscimo do teor de Ca no solo, quando utilizado o Verdete Calcinado microgranulado. De forma que para cada  $1 \text{ g dm}^{-3}$  da fonte testada, o Ca no solo diminuiu em  $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ , e com a aplicação na forma farelado o não houve ajuste de modelo (figura 8A). Este resultado é contrastante com Barbosa Filho

et al. (2001), que ao avaliar o teor de Ca trocável em um LATOSSOLO VERMELHO, na aplicação de doses crescentes de Wollastonita, evidenciou aumento linear ao incrementar a dose da fonte testada. Portanto o Verdete Calcinado evidenciou comportamento oposto à Wollastonita, sendo que esta pesquisa foi executada em condições de sequeiro. O acúmulo de Ca na parte aérea das plantas, não evidenciou ajuste de modelo (figura 8B).

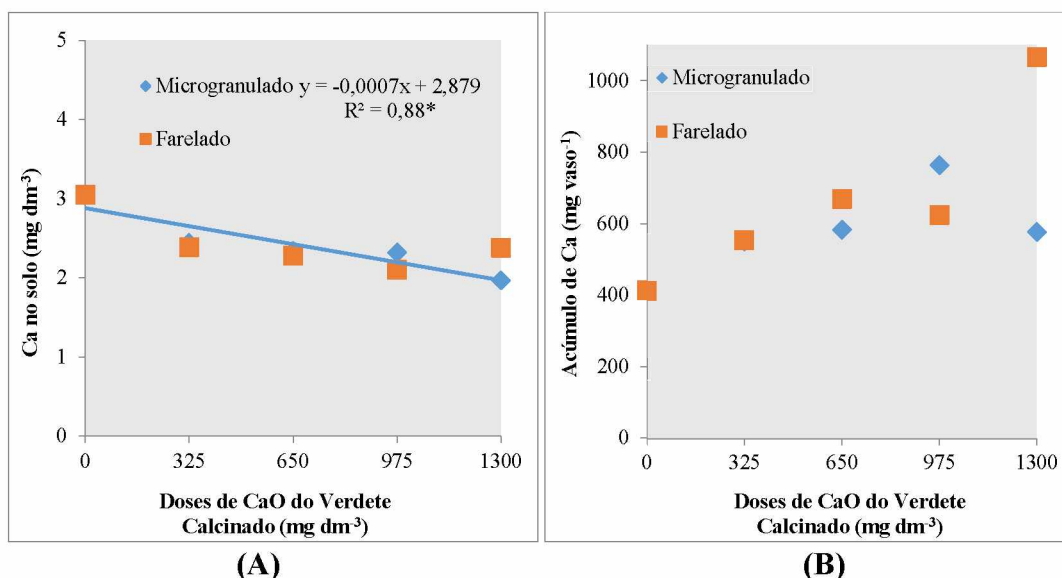


**Figura 8.** Ajuste linear para o teor de Ca no solo (A) e Ca acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete calcinado microgranulado e farelado no LVd.

### 3.1.7 Magnésio no solo e na parte área

Os teores de Mg no solo nas doses de 229 e 171 mg dm<sup>-3</sup> de MgO proveniente do microgranulado e farelado respectivamente, e nos tratamentos com KCl foram menores que a testemunha. Para o do Mg acumulado, a maior dose do farelado junto com o padrão KCl superaram a testemunha (tabela 13).

**Tabela 13.** Mg no solo e acumulado na parte aérea do arroz em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no LVd.

| Tratamento             | Doses da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Doses de MgO<br>da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mg no solo<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Mg<br>acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                     | 0                                               | 0,68+                                            | 215+                                     |
| KCl                    | 134                                   | 0                                               | 0,33*                                            | 514*                                     |
| Wollastonita           | 1695                                  | 31                                              | 0,37*                                            | 410                                      |
|                        | 1143                                  | 57                                              | 0,46                                             | 283                                      |
| Verdete Calcinado      | 2286                                  | 114                                             | 0,47                                             | 309                                      |
| Microgranulado         | 3429                                  | 171                                             | 0,46                                             | 379                                      |
|                        | 4572                                  | 229                                             | 0,35*                                            | 320                                      |
|                        | 1143                                  | 57                                              | 0,51                                             | 276                                      |
| Verdete Calcinado      | 2286                                  | 114                                             | 0,40                                             | 350                                      |
| Farelado               | 3429                                  | 171                                             | 0,38*                                            | 343                                      |
|                        | 4572                                  | 229                                             | 0,43                                             | 501*                                     |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                       |                                                 | 0,30                                             | 248                                      |
| CV(%)                  |                                       |                                                 | 22                                               | 34                                       |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Quando aplicado o Verdete Calcinado houve decréscimo no Mg no solo com taxas similares para ambas granulometrias avaliadas, sendo que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de MgO do Verdete, o teor do elemento no solo foi reduzido em 0,11 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (figura 9A). Por outra parte, o acúmulo de Mg na parte aérea não evidenciou ajuste (figura 9B).

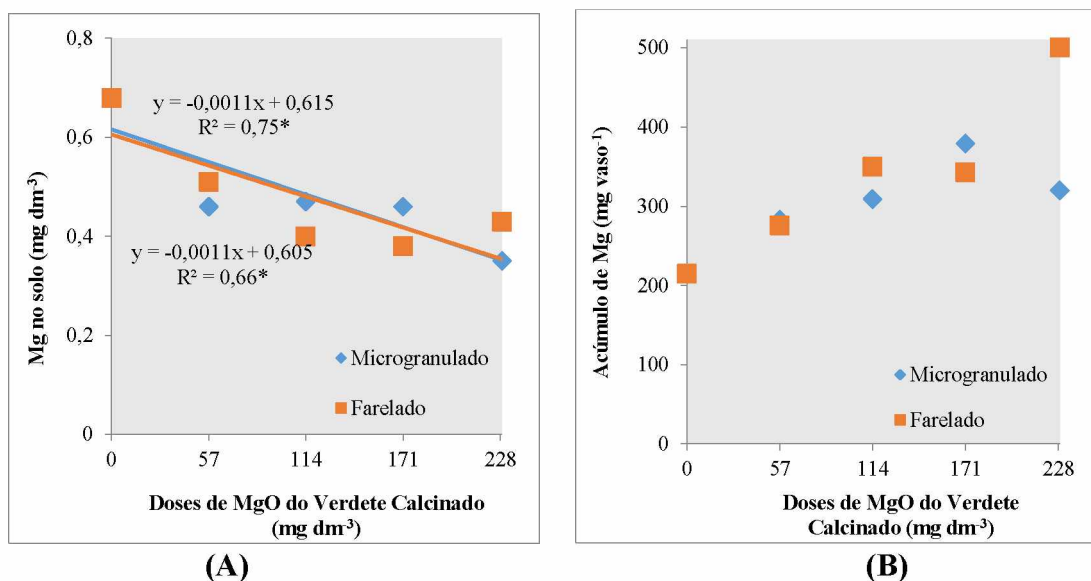


**Figura 9.** Ajustes lineares para o teor de Mg no solo (A) e Mg acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, no LVd.

Mesmo que as quantidades de Mg aplicadas ao solo foram iguais em todos os tratamentos (Tabela 5), com doses crescentes de MgO proveniente do Verdete Calcinado houve queda do Mg no solo (figura 9A) esse resultado demonstra, que o Verdete Calcinado liberou o elemento em menor quantidade, fato relacionado à menor solubilidade, como é relatado por Duarte (2012).

Por outro lado, o antagonismo que tem o potássio com o magnésio foi evidenciado nos resultados, os níveis do elemento no solo da testemunha foram os maiores em contraste com o tratamento com KCl, portanto pode ter acontecido que o solo do tratamento testemunha conseguiu assegurar mais Mg na CTC pelo baixo teor de K presente.

Com relação ao acúmulo do elemento na parte aérea, o baixo valor da testemunha pode estar relacionado com o menor crescimento e desenvolvimento das plantas, em contraste estão os tratamentos da maior dose de Verdete Calcinado farelado e aqueles com KCl, cujo crescimento foi o esperado, isto concorda com o obtido por Santos (2013), onde em ambos ciclos do milho, o acúmulo do elemento na parte aérea das plantas foi menor na testemunha em comparação com o Verdete Calcinado em pó.

### **3.2 NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico (RQo)**

#### **3.2.1 Número perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte aérea (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG)**

No solo arenoso, o número de perfilhos nas maiores doses de Verdete Calcinado microgranulado e em todas as doses do farelado, evidenciou um desempenho superior à testemunha sem aplicação. Para todas as variáveis avaliadas, e para todas as doses foi observado o melhor desempenho pelo Verdete Calcinado farelado em comparação com a testemunha, da mesma maneira ocorreu com as maiores doses de Verdete Calcinado microgranulado, mas, assim como a testemunha, nas menores doses dessa formulação o desempenho foi menor ao KCl (Tabela 14).

Resultados semelhantes foram obtidos na cultura do milho por Santos (2013) em um RQo, onde o Verdete Calcinado em pó no primeiro cultivo, foi o mais eficiente em aumentar a massa seca da parte aérea em ambas doses de 50 e 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, seguido pelo KCl, no entanto, no presente trabalho após dobrar a dose padrão de 80 mg

dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O quando utilizado verdete calcinado farelado, a eficiência se foi maior ao KCl (Tabela 14).

**Tabela 14.** Número de perfilhos (Per), número de panículas (Pan), massa seca da parte área (MSP) e massa seca de grãos de arroz (MSG), em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo.

| Tratamento             | Doses de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | Per  | Pan  | MSP<br>------(g)----- | MSG   |
|------------------------|--------------------------------------------------|------|------|-----------------------|-------|
| Testemunha             | 0                                                | 22   | 9+   | 9,6+                  | 1,5+  |
| KCl                    | 80                                               | 31   | 26*  | 52,7*                 | 29,6* |
| Wollastonita           | 80                                               | 45*  | 37*  | 61,7*                 | 31,4* |
|                        | 80                                               | 18   | 11+  | 10,4+                 | 2,8+  |
| Verdete Calcinado      | 160                                              | 32   | 19   | 26,6+                 | 5,6+  |
| microgranulado         | 240                                              | 44*  | 30*  | 38,6*                 | 7,8+  |
|                        | 320                                              | 40*  | 34*  | 37,6*                 | 21,3* |
|                        | 80                                               | 40*  | 30*  | 38,9*                 | 13,3  |
| Verdete Calcinado      | 160                                              | 44*  | 37*  | 58,9*                 | 23,4* |
| farelado               | 240                                              | 41*  | 42*+ | 66,9*                 | 28,1* |
|                        | 320                                              | 39*  | 37*  | 61,7*                 | 35,6* |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                                  | 12,6 | 5,2  | 17,0                  | 18,4  |
| CV (%)                 |                                                  | 17   | 9    | 19,0                  | 49,0  |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Os modelos ajustados para número de perfilhos e panículas foram de tipo linear, sendo que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O o incremento foi de 7,7 e 8,6 respectivamente (Figuras 10A e 10B). Para o Verdete Calcinado farelado no número de perfilhos os modelos ajustados foram quadráticos, onde até 216 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O aplicados observa-se aumento até um máximo de 47 perfilhos, e até 230 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O se obtém um máximo 42 panículas.

Cabe destacar que em ambas variáveis a dose de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete Calcinado farelado, superou à aplicação de KCl, por outra parte observa-se que essa forma do produto teve desempenho similar à Wollastonita na dose de 390 mg dm<sup>-3</sup> de Si (figuras 10A e 10B).

Na massa seca da parte aérea, para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete Calcinado microgranulado o aumento foi de 10,6 g, e no Verdete Calcinado farelado se evidencio uma alta taxa de aumento característica do modelo quadrático ajustado, onde até 253 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O a massa seca alcançou 67 g (figura 10C).

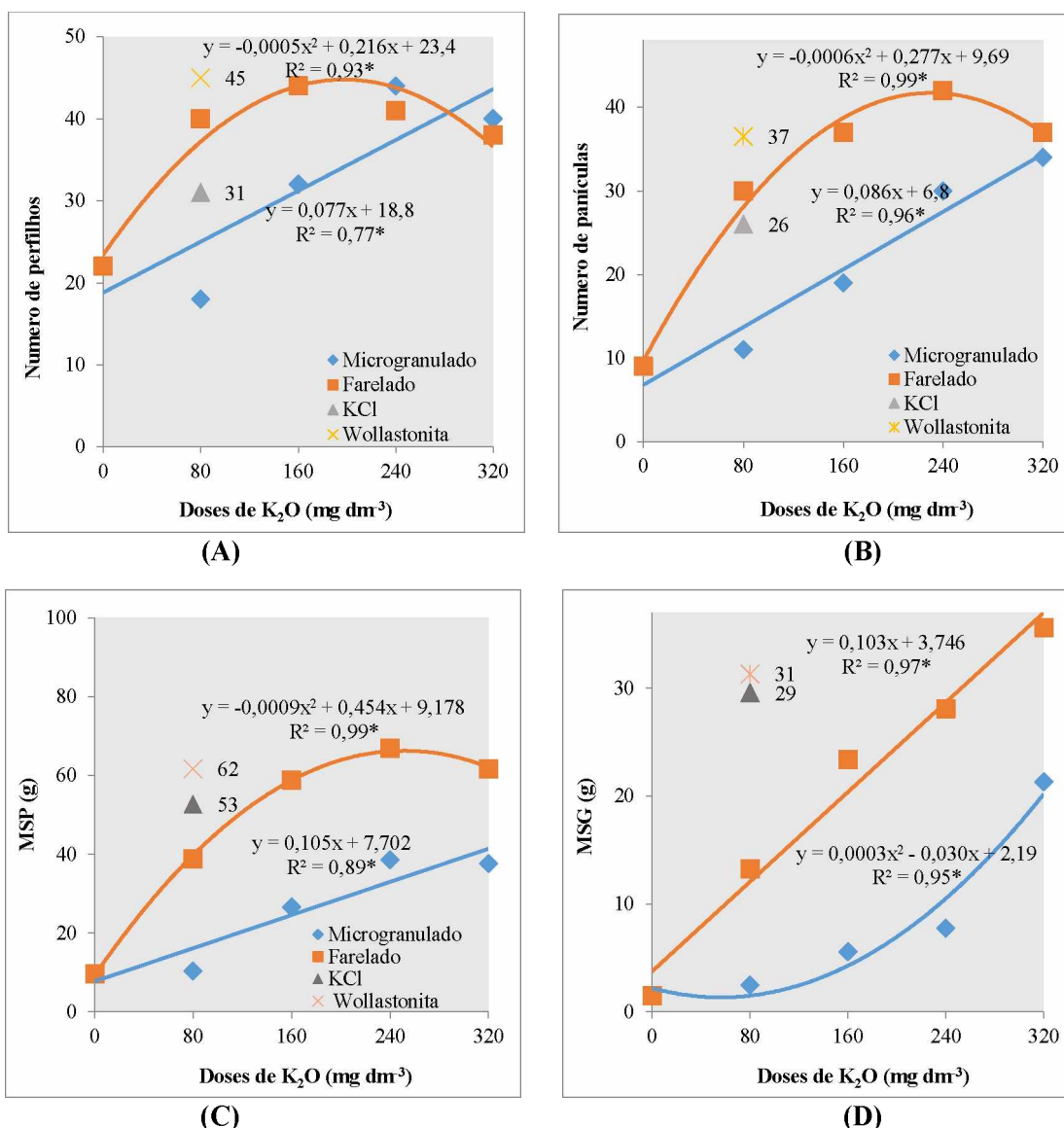


**Figura 10.** Ajustes lineares e quadráticos para número de perfilhos (A), número de panículas (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca dos grãos (D) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação as fontes KCl e Wollastonita, no RQo.

Com relação à massa seca de grãos, a adição de  $100\ mg\ dm^{-3}$  de  $K_2O$  provenientes do Verdete Calcinado farelado apresentou uma taxa de aumento de  $10,3\ g$ , no microgranulado. A partir de  $50,5\ mg\ dm^{-3}$  de  $K_2O$  proveniente do farelado, se observou incremento gradativo, e aproximadamente desde  $160\ mg\ dm^{-3}$  de  $K_2O$  apresentou-se uma alta taxa de incremento (figura 10D). Cabe ressaltar que na massa seca da parte aérea e dos grãos, as fontes padrão evidenciaram maiores valores em comparação com as suas doses análogas, tanto de  $K_2O$  como de Si do Verdete Calcinado.

Nas figuras 11A e 11B, evidencia-se o baixo crescimento e desenvolvimento quando não adicionado adubo potássico no RQo, cujo teor do elemento é deficiente para suprir a demanda das plantas.



(A)



(B)

**Figura 11.** Desenvolvimento de plantas de arroz 90 dias após semeadura, em função da aplicação de KCl, Wollastonita e Verdete calcinado microgranulado (A) e farelado (B), no RQo.

Nos contrastes não ortogonais, observa-se que o perfilhamento apresentou um comportamento semelhante para todos os tratamentos comparados. Para o do número de panículas, nas massas secas da parte aérea e dos grãos, o KCl teve melhor desempenho que o Verdete Calcinado, de maneira semelhante Wollastonita, mas, para o número de panículas e massa seca da parte aérea (tabela 15).

**Tabela 15.** Contrastes dos tratamentos com aplicação de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O e 390 mg dm<sup>-3</sup> de Si no RQo.

| Contraste                                   | Per       |       |                 | Pan       |       |                 | MSP(g)    |      |                 | MSG(g)    |       |                 |
|---------------------------------------------|-----------|-------|-----------------|-----------|-------|-----------------|-----------|------|-----------------|-----------|-------|-----------------|
|                                             | $\hat{y}$ | t     | Pr <sup>1</sup> | $\hat{y}$ | t     | Pr <sup>1</sup> | $\hat{y}$ | t    | Pr <sup>1</sup> | $\hat{y}$ | t     | Pr <sup>1</sup> |
| KCl vs                                      |           |       |                 |           |       |                 |           |      |                 |           |       |                 |
| Verdete Calcinado microgranulado e farelado | -3,87     | 0,31  | 1,00            | -7,37     | -4,80 | 0,04*           | -29,3     | -5,7 | 0,005*          | -22       | -4,0  | 0,16*           |
| Wollastonita vs                             |           |       |                 |           |       |                 |           |      |                 |           |       |                 |
| Verdete Calcinado microgranulado e farelado | -6,75     | -1,79 | 0,97            | -8,75     | -5,61 | 0,007*          | -18,9     | -3,7 | 0,23*           | -17       | -3,10 | 0,52            |

$\hat{y}$ : estimativa de contraste; t: estatística do teste de "t-Student". \* significativo pelo teste de Scheffé a 0,10 de significância.

### 3.2.2 Índice de eficiência agrônômica IEA

O Verdete Calcinado apresentou menor IEA que o KCl, na forma farelada evidenciou maior índice que o microgranulado. Assim, o Verdete Calcinado farelado evidenciou valores próximos a 70% da eficiência do KCl, fonte que é totalmente solúvel na água, o que indica que 100 kg de K<sub>2</sub>O do Verdete Calcinado farelado aplicados ao solo, são equivalentes a 70 kg de K<sub>2</sub>O do KCl. Com respeito ao Verdete Calcinado microgranulado o IEA foi de 2%, valor bem inferior que pode punir essa forma do produto frente ao KCl (figura 12).

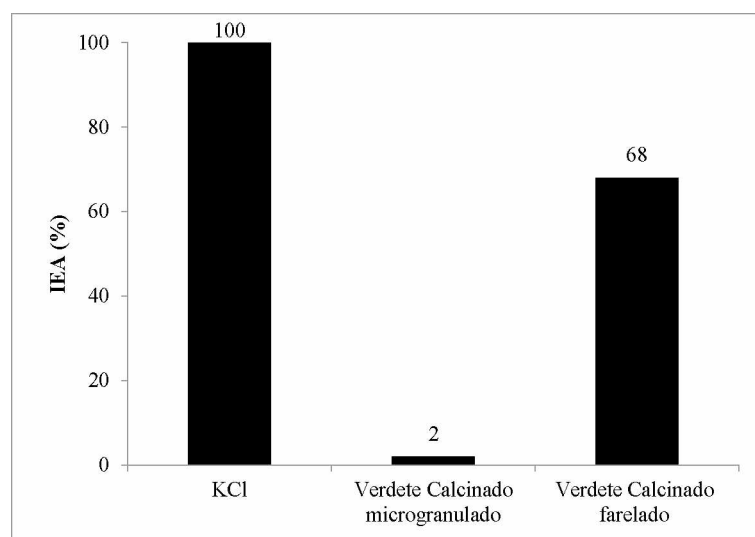


**Figura 12.** Índice de eficiência agrônômica do Verdete Calcinado com relação ao KCl, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz no RQo.

Em relação à Wollastonita, o Verdete Calcinado farelado evidenciou um IEA de 94% microgranulado apenas de 33%, por isso o primeiro resultou ser uma fonte interessante para o aporte de Si no RQo. No trabalho de Santos (2010) ao avaliar Fertilisício master e Fertilisício ativado, encontrou que ambas fontes evidenciaram bons índices de eficiência agronômica, 90 e 76% respectivamente, por isso o Verdete Calcinado farelado por ter um IEA de 94% pode ser uma fonte adequada que forneça Si para acultura e assim assegurar uma alta produção de grãos (figura 13).

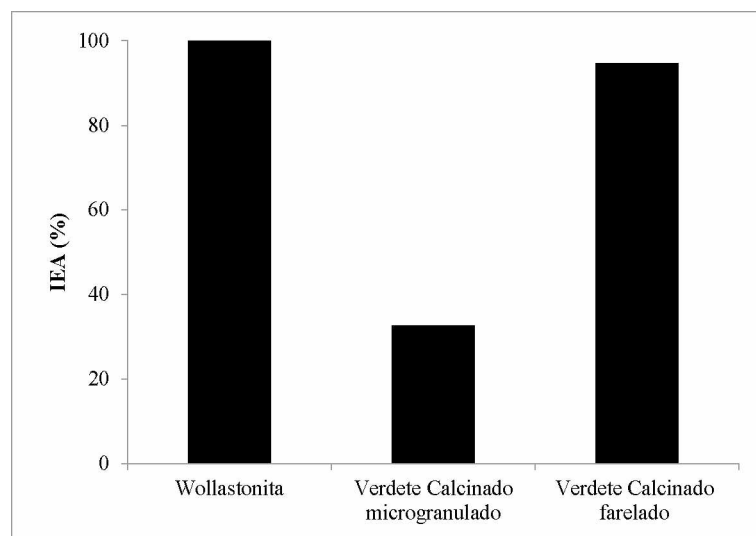


**Figura 13.** Índice de eficiência agronômica do Verdete Calcinado com relação à Wollastonita, calculado com base na soma da produção de matéria seca do arroz no RQo.

### 3.2.3 Silício no solo e na parte área

Quando utilizado Verdete Calcinado microgranulado, todas as doses de Si é evidenciaram incremento no teor de Si no solo, porém, o silício acumulado apresentou maior desempenho que a testemunha a partir de 585 mg dm<sup>-3</sup> de Si (tabela 16). Ao aplicar Verdete Calcinado farelado foi evidenciado maior desempenho em comparação à testemunha a partir de 390 mg dm<sup>-3</sup> (mesma dose do padrão de Si) e da mesma maneira a Wollastonita também foi maior que o tratamento sem aplicação (tabela 16).

**Tabela 16.** Teor de Si no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo.

| Tratamento                          | Doses de Si<br>mg dm <sup>-3</sup> | Si no solo<br>mg dm <sup>-3</sup> | Si acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha                          | 0                                  | 1,6                               | 168                                   |
| KCl                                 | 0                                  | 1,3                               | 612                                   |
| Wollastonita                        | 390                                | 6,8*                              | 1446*                                 |
|                                     | 195                                | 4,1*                              | 125                                   |
| Verdete Calcinado<br>microgranulado | 390                                | 4,5*                              | 550                                   |
|                                     | 585                                | 5,5*                              | 921*                                  |
|                                     | 780                                | 3,7*                              | 864*                                  |
|                                     | 195                                | 2,7                               | 731                                   |
| Verdete Calcinado<br>farelado       | 390                                | 4,3*                              | 1159*                                 |
|                                     | 585                                | 5,3*                              | 1656*                                 |
|                                     | 780                                | 5,8*                              | 1922*                                 |
| DMS <sub>Dunnett</sub>              |                                    | 1,8                               | 563                                   |
| CV (%)                              |                                    | 21                                | 29                                    |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 0,05 de probabilidade, em relação à testemunha (\*).

O Si no solo apresentou modelo linear ajustado quando aplicado o Verdete Calcinado farelado, sendo que para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Si o incremento do elemento no solo foi de 0,5 mg dm<sup>-3</sup>, e para o microgranulado até 475 mg dm<sup>-3</sup> de Si aplicado se obtém o máximo de Si no solo (5,3 mg dm<sup>-3</sup>) (figura 14A).

Sendo que o Si foliar apresentou modelo linear, quando aplicado pelo Verdete Calcinado farelado, foram observados valores muito superiores que os encontrados no experimento de Ramos et al. (2008). Assim, para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Si aplicado se evidenciou uma taxa de incremento de 1,8 g kg<sup>-1</sup> de Si nas folhas, e no experimento já citado a taxa de incremento de Si foliar foi de 0,36 g kg<sup>-1</sup> de Si (figura 14B) esse comportamento do aumento do Si proveniente do Verdete Calcinado farelado, também foi observado no acúmulo do elemento na parte foliar do arroz, onde para cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de Si o incremento foi de 227 g vaso<sup>-1</sup>. (Figura 14C).

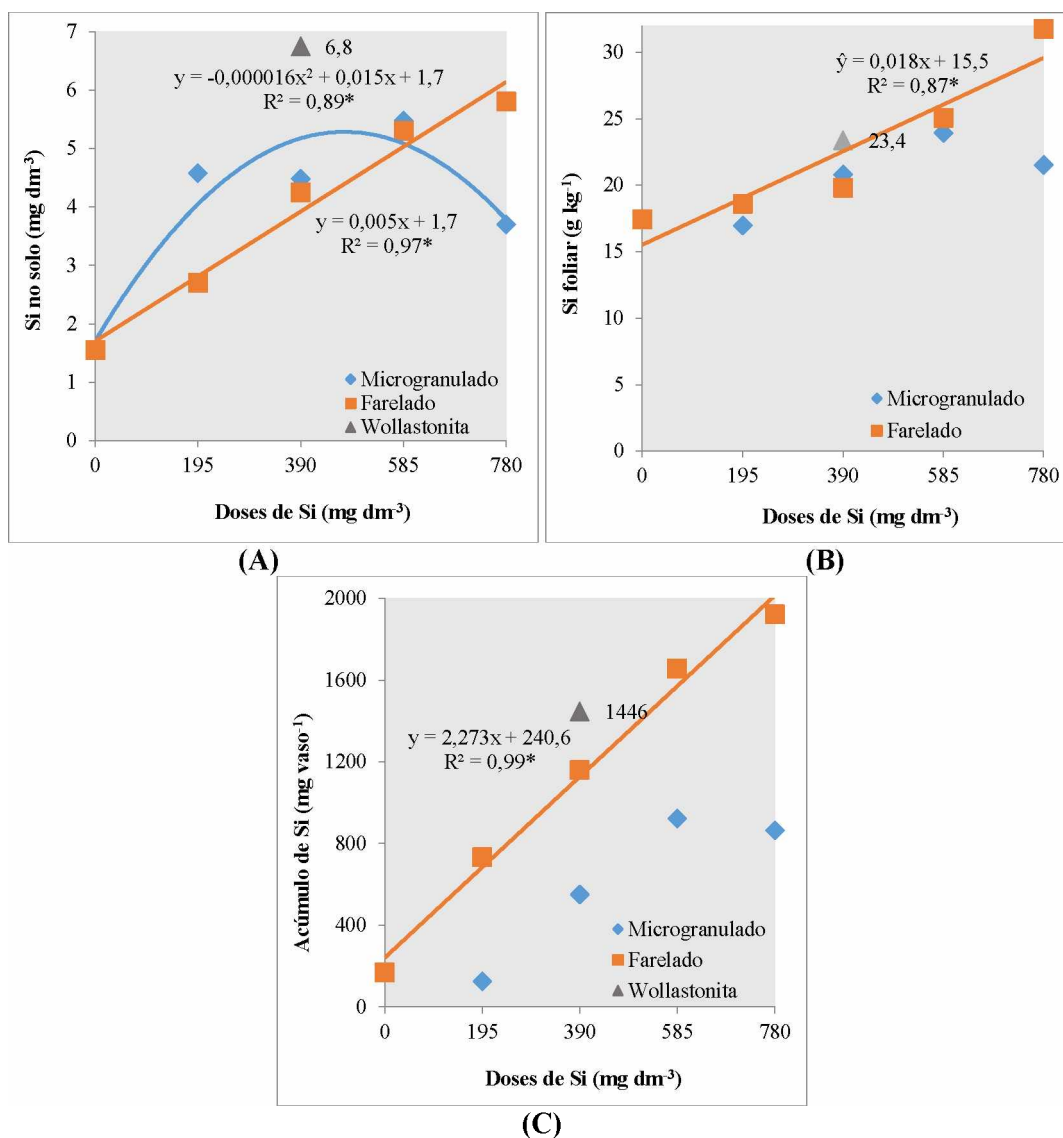


**Figura 14.** Ajustes lineares e quadráticos para o teor de Si no solo (A), Si foliar (B) e Si acumulado na parte área de plantas de arroz (C), em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, e em comparação com a Wollastonita, no RQo.

Os testes de contrastes entre as doses de Si da Wollastonita contra o aporte de Si dado pelo Verdete Calcinado em ambas granulometrias, o teor de Si no solo e o acúmulo mostraram maior incremento quando aplicada a fonte padrão (tabela 17).

**Tabela 17.** Contrastes dos tratamentos com aplicação de 390 mg dm<sup>-3</sup> de Si no RQo.

| Contraste                                                            | Si no solo |       |       | Si acumulado |       |       |
|----------------------------------------------------------------------|------------|-------|-------|--------------|-------|-------|
|                                                                      | $\hat{y}$  | t     | Pr    | $\hat{y}$    | t     | Pr    |
| Wollastonita<br>vs<br>Verdete Calcinado<br>microgranulado e farelado | -2,38      | -4,48 | 0,07* | -592         | -3,52 | 0,31* |

$\hat{y}$ : estimativa de contraste; t: estatística do teste de "t-Student". \* significativo pelo teste de Scheffé a 0,10 de significância.

### 3.2.4 Potássio no solo e na parte área

Os tratamentos de 240 e 320 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O, quando aplicado Verdete Calcinado farelado foram superiores no teor de K no solo determinado por mehlich-1 tanto da testemunha como do KCl, e muito superiores ao nível crítico (70 mg dm<sup>-3</sup>) estabelecido pela CFSEMG (1999). Da mesma maneira, na determinação por resina ocorreu nas doses de 160, 240 e 320 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O proveniente do microgranulado, e na dose maior do farelado, valores superiores ao teor médio de K no solo (59 a 117 mg dm<sup>-3</sup>) estabelecido por Raij et al. (1996) (tabela 18).

Com respeito ao K acumulado, quase todas as doses de farelado junto os tratamentos com KCl superaram à testemunha e 80 e 160 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do microgranulado junto a testemunha foram inferiores ao KCl (Tabela 18). Esses resultados são concordantes com Santos (2013) pois o Verdete Calcinado granulado no primeiro cultivo do mileto foi menos eficiente no acúmulo de K na parte aérea que o tratamento com KCl.

**Tabela 18.** Teor de K no solo e acumulado na parte aérea de plantas de arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo.

| Tratamento                       | Doses de K <sub>2</sub> O<br>mg dm <sup>-3</sup> | K no solo Mehlich-1<br>mg dm <sup>-3</sup> | K no solo Resina<br>mg dm <sup>-3</sup> | K acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|----------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| Testemunha*                      | 0                                                | 17                                         | 14                                      | 56+                                  |
| KCl+                             | 80                                               | 10                                         | 13                                      | 343*                                 |
| Wollastonita                     | 80                                               | 9                                          | 11                                      | 267*                                 |
|                                  | 80                                               | 64                                         | 41                                      | 49+                                  |
| Verdete Calcinado microgranulado | 160                                              | 45                                         | 68*+                                    | 137+                                 |
|                                  | 240                                              | 78                                         | 99*+                                    | 235                                  |
|                                  | 320                                              | 96                                         | 174*+                                   | 157                                  |
|                                  | 80                                               | 54                                         | 36                                      | 178                                  |
| Verdete Calcinado farelado       | 160                                              | 93                                         | 34                                      | 279*                                 |
|                                  | 240                                              | 162*+                                      | 51                                      | 373*                                 |
|                                  | 320                                              | 188*+                                      | 67*+                                    | 374*                                 |
| DMS <sub>Dunnett</sub>           |                                                  | 100                                        | 59                                      | 178                                  |
| CV (%)                           |                                                  | 66                                         | 52                                      | 38                                   |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

Tanto para a determinação do K no solo por mehlich-1 como por resina, os modelos ajustados foram de tipo linear, onde o incremento de K no solo foi de 21,5 e 56,2

mg dm<sup>-3</sup> com a aplicação de 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete Calcinado microgranulado e farelado, respectivamente.

Duarte (2015) ao avaliar o potássio de 0 a 20 cm de profundidade quando adicionadas doses crescentes do mesmo produto em cana-de-açúcar em um RQo, também evidenciou incremento linear no teor de K no solo com extrator Mehlich-1, mas, com uma taxa superior à encontrada nesse trabalho, sendo que a cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete Calcinado o aumento foi de 102 mg dm<sup>-3</sup> (figura 15A), valor possivelmente relacionado às condições de sequeiro em que é plantada a cana-de-açúcar.

No extrator da resina, a taxa de incremento de K no solo foi de 47,2 mg dm<sup>-3</sup> por cada 100 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O provenientes do Verdete Calcinado microgranulado, Duarte (2015) evidenciou a metade desse valor (0,06 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> = 23,4 mg dm<sup>-3</sup>) no RQo, sendo que as condições de inundação no solo poderiam ter favorecido a liberação do K no presente trabalho. O modelo da aplicação do farelado não apresentou ajuste (figura 15B).

Cabe destacar que os valores de K no solo evidenciados por ambos métodos de extração quando aplicado o KCl foram próximos e baixos, sendo de 10 e 13 mg dm<sup>-3</sup> para mehlich-1 e resina, respectivamente (figuras 15A e 15B), assim, foram bem menores que as mesmas doses da fonte testada, onde os valores vão 36 a 64 mg dm<sup>-3</sup>.

No trabalho de Duarte (2015) é apresentado um resultado similar, sendo que a dose de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O do Verdete Calcinado, apresentou maior teor de K no solo que o KCl, em ambos métodos de extração. Isto pode estar relacionado com maior absorção de K pelas plantas quando aplicado o KCl no ambiente restrito dos vasos.

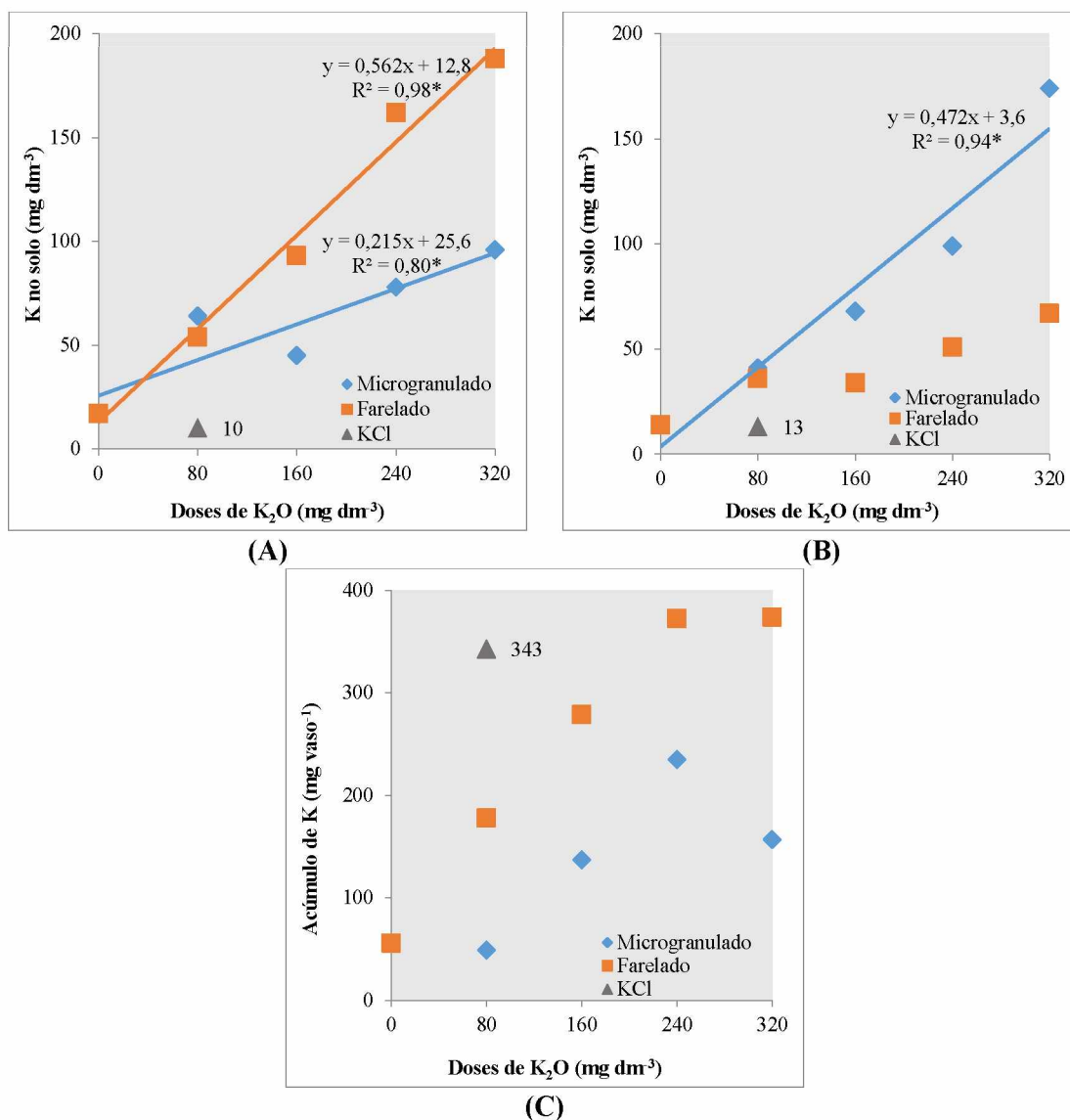


**Figura 15.** Modelos lineares em função de doses crescentes de Verdete Calcinado no arroz inundado no RQo, sobre o teor de potássio no solo determinado por Mehlich-1 (A) e resina (B).

Ao avaliar os contrastes entre as mesmas doses de  $K_2O$ , o acúmulo de K evidenciou ser superior quando foi aplicado o KCl. Assim o KCl disponibilizou para as plantas o elemento mais rapidamente e em alta quantidade (Tabela 19). Da mesma maneira que Duarte (2012) em milho, quem indicou um possível consumo de luxo para as plantas adubadas com KCl. Meurer (2006) explica que o consumo de luxo significa absorção do elemento em maior quantidade que a requerida para um bom crescimento, por tanto nos tratamentos com KCl onde o elemento foi disponibilizado de forma rápida, podem apresentar baixos teores do K no solo e nas plantas nos próximos cultivos pelo excesso de K extraído inicialmente.

**Tabela 19.** Contrastes dos tratamentos com aplicação de 80 mg dm<sup>-3</sup> de K<sub>2</sub>O no RQo.

| Contraste                                           | K mehlich-1 |      |      | K resina  |      |       | K acumulado |       |       |
|-----------------------------------------------------|-------------|------|------|-----------|------|-------|-------------|-------|-------|
|                                                     | $\hat{y}$   | t    | Pr   | $\hat{y}$ | t    | Pr    | $\hat{y}$   | t     | Pr    |
| KCl vs<br>Verdete Calcinado<br>granulado e farelado | 44,75       | 1,50 | 0,90 | 54,75     | 3,10 | 0,49* | -230        | -4,32 | 0,09* |

$\hat{y}$ : estimativa de contraste; t: estatística do teste de "t-Student".\* significativo pelo teste de Scheffé a 0,10 de significância.

### 3.2.5 Percentual de potássio recuperado

Todas as fontes avaliadas apresentaram menor recuperação do elemento no RQo, sendo 45% recuperado quando aplicado KCl, seguido de 19% com Verdete Calcinado farelado e 0% quando utilizado o microgranulado no RQo (figura 16). Assim a granulometria do produto incidiu na liberação do elemento para as plantas, ao ser maior o microgranulado não liberou K para as plantas, por tanto o desempenho global foi melhor quando utilizado o farelado.

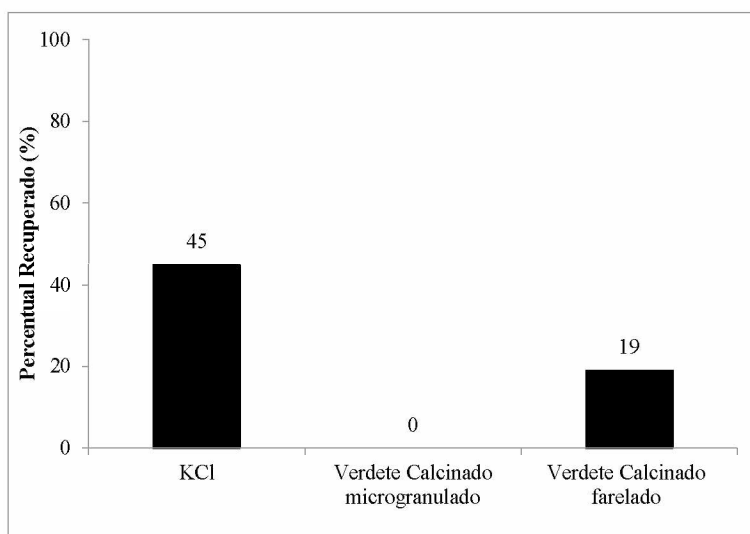


**Figura 16.** Percentual de potássio recuperado pelo arroz, calculado com base no potássio acumulado na parte aérea no RQo.

### 3.2.6 pH, Cálcio no solo e na parte área

O pH nas doses que receberam menor quantidade de calcário apresentou menores valores, sendo a testemunha o tratamento que evidenciou o maior pH. O teor de Ca no solo, em todos os tratamentos mostrou comportamento semelhante, mas, o Ca acumulado, nos tratamentos das maiores doses de Verdete Calcinado microgranulado, em todas as doses do farelado e nos tratamentos com KCl, superaram à testemunha; esse tratamento junto com as menores doses de microgranulado apresentaram menor quantidade do

elemento em relação com o KCl, isto indica que onde houve maior crescimento das plantas (Tabela 14) o acúmulo de cálcio também foi maior (Tabela 20).

Isto é contrastante com o obtido por Duarte (2012), que indica que os teores de Ca na parte aérea, quando utilizado o KCl foram inferiores à testemunha, dado pelo desequilíbrio de íons onde o K inibiu a absorção de Ca. Dessa forma podemos inferir que sendo bem nutridas as plantas de arroz com K acumularam boa quantidade de Ca na parte aérea, então não houve desequilíbrio de íons possivelmente pelas condições de alagamento.

**Tabela 20.** pH, Ca no solo e acumulado na parte aérea do arroz, em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo.

| Tratamento                       | Doses da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Doses de CaO da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | pH    | Ca no solo<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Ca acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|----------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Testemunha                       | 0                                     | 0                                            | 6,7   | 3,7                                              | 125+                                  |
| KCl                              | 134                                   | 0                                            | 6,2   | 3,6                                              | 802*                                  |
| Wollastonita                     | 1695                                  | 507                                          | 6,5   | 3,8                                              | 799*                                  |
| Verdete Calcinado microgranulado | 1143                                  | 325                                          | 6,4   | 3,8                                              | 123+                                  |
|                                  | 2286                                  | 650                                          | 6,0   | 3,5                                              | 340+                                  |
|                                  | 3429                                  | 735                                          | 5,3*+ | 2,8                                              | 518*                                  |
|                                  | 4572                                  | 1300                                         | 4,9*+ | 3,3                                              | 501*                                  |
| Verdete Calcinado farelado       | 1143                                  | 325                                          | 6,6   | 4,3                                              | 564*                                  |
|                                  | 2286                                  | 650                                          | 6,5   | 3,6                                              | 887*                                  |
|                                  | 3429                                  | 735                                          | 6,4   | 3,8                                              | 846*                                  |
|                                  | 4572                                  | 1300                                         | 5,8*  | 2,2                                              | 818*                                  |
| DMS <sub>Dunnett</sub>           |                                       |                                              | 0,7   | 2,0                                              | 278                                   |
| CV (%)                           |                                       |                                              | 6     | 28                                               | 23                                    |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

A aplicação de Verdete Calcinado evidenciou diminuição ligeira do pH do solo, sendo que para cada 1 g dm<sup>-3</sup> da forma microgranulado o pH desceu 0,39 e para o farelado 0,17 (figura 17A). Ca no solo e acumulado, não apresentaram ajuste de modelo (figura 17B e 17C).

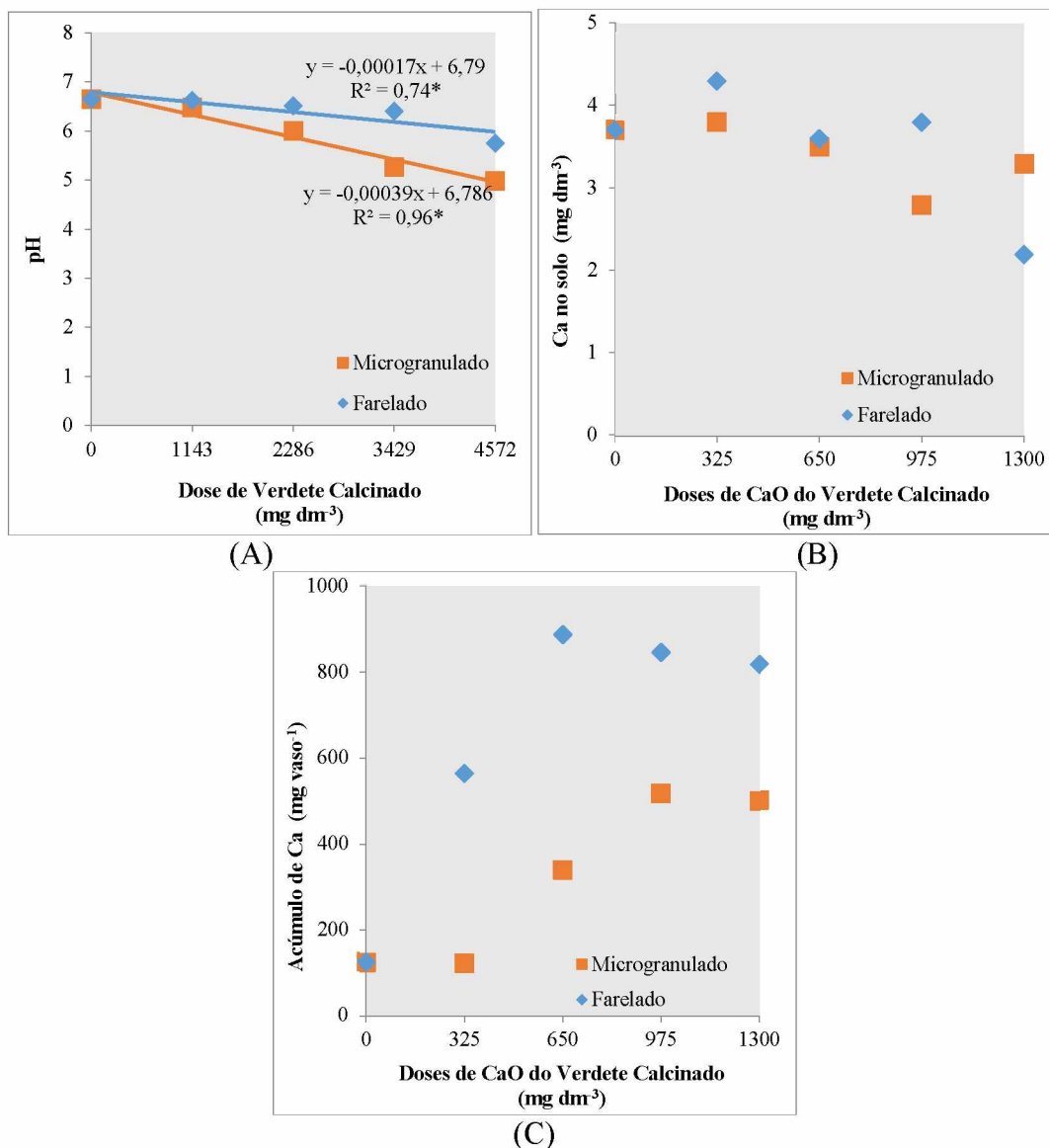


**Figura 17.** Ajuste linear para o pH do solo (A), teor de Ca no solo (B) e Ca acumulado na parte aérea (C) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete calcinado microgranulado e farelado no RQo.

Fagueira (2000) ao avaliar o incremento do pH sobre a massa seca de plantas e grãos de três cultivares de arroz, evidenciou diminuição na produção com o aumento do pH da mesma maneira que neste trabalho, sendo que essa espécie é mais tolerante à acidez que outras culturas. O anterior corrobora os resultados do presente trabalho, pois nos tratamentos que tiveram os maiores valores de pH, a MSP e MSG foram menores (Tabelas 14 e 20). Fagueira (2000) também indica que altos valores de pH induzem deficiência de micronutrientes e aumentam a fixação de P pela formação de fosfatos de cálcio, dessa maneira os elementos ficam menos disponíveis para as plantas e pode ser afetado o crescimento.

Por outra parte, Barbosa Filho et al. (2001) evidenciou aumentos lineares significativos no pH com o incremento da dose de Wollastonita, isto é contrastante com o comportamento evidenciado pelo Verdete Calcinado, pois neste trabalho houve decréscimo no pH do solo quando aumentou a dose do produto.

### 3.2.7 Magnésio no solo e na parte aérea

No teor de Mg no solo, somente os tratamentos com a maior dose MgO do Verdete Calcinado farelado foi inferior à testemunha. Por outra parte, todos os tratamentos dessa granulometria superaram a testemunha no acúmulo de Mg na parte aérea, da mesma maneira que os tratamentos com KCl (tabela 21).

**Tabela 21.** Mg no solo e acumulado na parte aérea do arroz em função da aplicação de KCl, Wollastonita, ou de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado no RQo.

| Tratamento             | Doses da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Doses de MgO<br>da fonte<br>mg dm <sup>-3</sup> | Mg no solo<br>cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> | Mg<br>acumulado<br>mg vaso <sup>-1</sup> |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Testemunha             | 0                                     | 0                                               | 1,0                                              | 54+                                      |
| KCl                    | 134                                   | 0                                               | 0,7                                              | 343*                                     |
| Wollastonita           | 1695                                  | 31                                              | 0,7                                              | 272*                                     |
|                        | 1143                                  | 57                                              | 1,0                                              | 49+                                      |
| Verdete Calcinado      | 2286                                  | 114                                             | 1,1                                              | 148+                                     |
| Microgranulado         | 3429                                  | 171                                             | 0,7                                              | 215                                      |
|                        | 4572                                  | 229                                             | 0,6                                              | 226                                      |
|                        | 1143                                  | 57                                              | 1,0                                              | 282*                                     |
| Verdete Calcinado      | 2286                                  | 114                                             | 0,9                                              | 346*                                     |
| Farelado               | 3429                                  | 171                                             | 0,8                                              | 313*                                     |
|                        | 4572                                  | 229                                             | 0,4*                                             | 324*                                     |
| DMS <sub>Dunnett</sub> |                                       |                                                 | 0,7                                              | 175                                      |
| CV(%)                  |                                       |                                                 | 40                                               | 36                                       |

Médias diferentes pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade, em relação à testemunha (\*) e ao KCl (+).

A aplicação de Verdete Calcinado farelado mostrou diminuição no teor de Mg no solo, sendo que para cada grama aplicada do Verdete Calcinado o elemento no solo diminui em 0,11 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Para o Verdete Calcinado microgranulado não houve ajuste de modelo (figura 18).

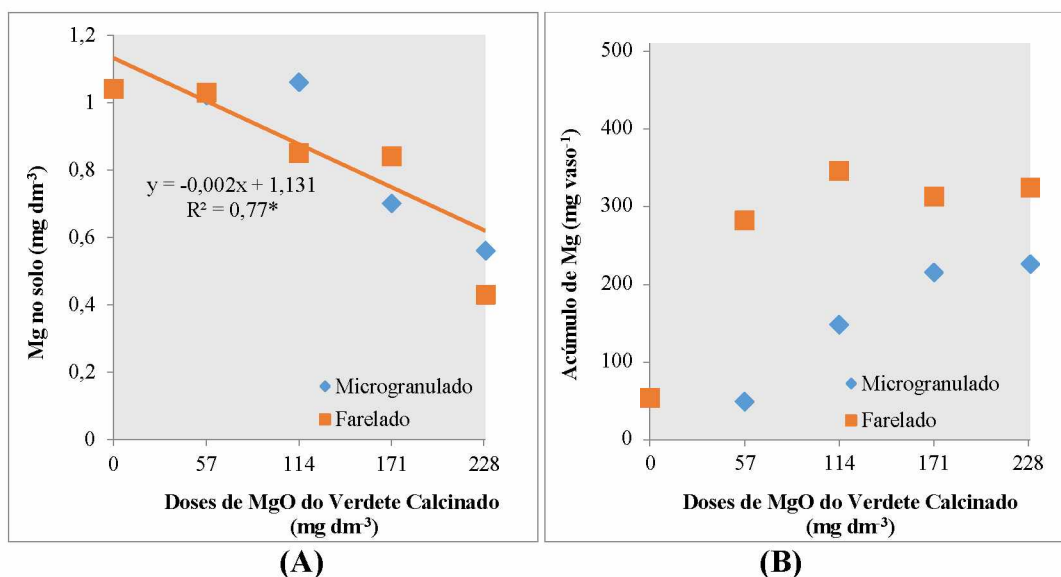


**Figura 18.** Ajustes lineares para o teor de Mg no solo (A) e Mg acumulado na parte aérea (B) na cultura do arroz, em decorrência da aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado microgranulado e farelado, no RQo.

Ainda que o valor de Mg no solo do Verdete Calcinado farelado sem adição de  $\text{MgCO}_3$ , chegou no nível ( $<0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) que Sosbai (2014) indica de crítico, as plantas apresentaram bom crescimento, isto pode ser atribuído pela liberação gradativa de elementos da fonte testada, sendo que os acúmulos do elemento na parte dessa forma de Verdete Calcinado foram dos maiores. Santos (2013) em um solo da mesma classificação, evidenciou resultados similares, pois a menor granulometria testada de Verdete Calcinado foi obtida os maiores valores de acúmulo de Mg na parte aérea do mileto. Assim, o mesmo autor indica que o Verdete Calcinado em pó, foi uma fonte capaz de liberar Mg ao solo.

#### 4 CONCLUSÕES

Em ambos os solos, a produção de panículas e a massa seca das plantas de arroz, bem como o IEA relativo ao KCl e à Wollastonita foram superiores para o Verdete Calcinado farelado em relação ao microgranulado, apresentando também evidências de maior acúmulo de Si, K e Ca.

O Verdete Calcinado farelado tanto no solo argiloso como no arenoso, foi mais eficiente nas respostas de produção de panículas, massa seca da parte aérea de plantas de arroz e no acúmulo de Si, K e Ca.

A aplicação de doses crescentes de Verdete Calcinado evidenciou redução no pH e no teor de Mg do solo em ambos solos, com destaque para o microgranulado que atuou mais intensamente no incremento da acidez.

## 5. REFERENCIAS

- BARBOSA FILHO, M. P; SNYDER, G. H; FAGERIA N. K; DATNOFF, L. E. & SILVA, O. F. **Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro**. Revista brasileira da ciência do solo, 25(1): 325-330.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MG – CFSEMG. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5 aproximação. Viçosa, MG, 1999. 359p.
- DUARTE, I. N. **Fonte alternativa de potássio para adubação da cana-de-açúcar**. 177 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2015.
- DUARTE, I. N. Verdete Calcinado: **Fertilizante alternativo para a agricultura brasileira**. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2012.
- EICHLER, V.; LOPES A. S. **Disponibilidade do potássio do verdete de Abaeté, calcinado com e sem calcário magnesiano, para a cultura do milho (*Zea mays* L.), em solo de textura argilosa**. Ciência e Prática, Lavras, v.7, n.2, p.136-146, 1983.
- FAGERIA, N. K.; FERREIRA, E.; PRABHU, A. S.; BARBOSA FILHO, M. P. & FILIPPI, M. C. **Seja doutor do seu arroz**. Piracicaba, Potafos, 1995. 20p. (Arquivo do Agrônomo, 9)
- FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura do arroz**. Goiânia: Campus, 1984. 341p.
- FARIA, R. **Efeito da acumulação de silício e a tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 125F. Dissertação (Mestrado) Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, 2000.
- FRAYHA, R. **Rochas potássicas: mineração e metalurgia**. Rio de Janeiro, v.15, n.87, p.85-96, 1950.
- MAGALHÃES, A. M; FAGUNDES, P. R. Agência Embrapa de Informação Tecnológica-ageitec. **Árvore do conhecimento arroz**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Consulta setembro de 2016.
- MEURER, E. J. **Nutrição mineral de plantas**. SBCS Viçosa, 2006, 432p.
- PRUDENTE DE ASSIS, M.; CARVALHO, J. G.; BERTOLI, J. C.; ANDRADE, W. E. de B. **Limitações nutricionais para a cultura do arroz em solos orgânicos sob inundação**. Revista Ciência e Agrotecnologia. v.24, n.1, p.87-95. 2000.
- RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. & FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100)

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER G. H; NOLLA, A. **Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes**. Bragantia, Campinas, v.67, n.3, p.751-757. 2008.

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER G. H; QUEIROZ, A. A. **Avaliação de fontes de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea**. Biosci. J., Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 10 - 16. 2009.

RODRIGUES, G. P. 1997. **Efeito do silicato de cálcio na cana-de-açúcar e sobre as características químicas do solo**. Monografia. Curso de Agronomia. Univ. Fed. Uberlândia, Brasil.

SANTOS, D. S. **Rochagem como alternativa para fornecimento de potássio para as culturas**. 89f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2013.

SANTOS, D DA S.; Silva, V. A.; KORNDÖRFER, G. H. DA SILVA, C. J. **Eficiência de fontes de silício para a cultura do arroz**. Enciclopédia biosfera, centro científico conhecer - Goiânia, v.6, n. 2, p. 10 - 16. 2010.

SOSBAI. **Arroz irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. XXXI Reunião técnica da cultura do arroz irrigado Bento Gonçalves - RS. 200p. 2016.