

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL  
CAMPUS DE LARANJEIRAS DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA E  
DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL – PPGADR**

**MAILIS APARECIDA GROSSELLI**

**INFLUÊNCIA DO USO DE PÓ DE ROCHA BASÁLTICA E BIOCARVÃO EM  
LATOSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E NO CULTIVO ORGÂNICO DE  
*Phaseolus vulgaris* ANTECEDIDO POR PLANTAS SOLUBILIZADORAS**

**LARANJEIRAS DO SUL/PR**

**2021**

**MAILIS APARECIDA GROSSELLI**

**INFLUÊNCIA DO USO DE PÓ DE ROCHA BASÁLTICA E BIOCÁRVÃO EM  
LATOSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E NO CULTIVO ORGÂNICO DE  
*Phaseolus vulgaris* ANTECEDIDO POR PLANTAS SOLUBILIZADORAS**

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Fronteira Sul, como parte das exigências do programa de Pós Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Henrique von Hertwig Bittencourt.  
Coorientador: Prof. Dr. José Francisco Grillo.

**LARANJEIRAS DO SUL/PR**

**2021**

## Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Grosselli, Mailis Aparecida  
Influência do uso de pó de rocha basáltica e biocarvão em LATOSSOLO VERMELHO distroférico e no cultivo orgânico de *Phaseolus vulgaris* antecedido por plantas solubilizadoras / Mailis Aparecida Grosselli. -- 2021.

107 f.:il.

Orientador: Dr. Henrique Von Hertwig Bittencourt  
Co-orientador: Dr. José Francisco Grillo  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Laranjeiras do Sul, PR, 2021.

1. Alternativas de manejo e fertilização para recuperação de solos intemperizados sob cultivos anuais orgânicos.. I. Bittencourt, Henrique Von Hertwig, orient. II. Grillo, José Francisco, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

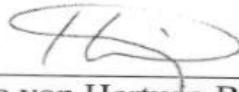
**MAILIS APARECIDA GROSSELLI**

**INFLUÊNCIA DO USO DE PÓ DE ROCHA BASÁLTICA E BIOCARVÃO EM  
LATOSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E NO CULTIVO ORGÂNICO DE  
*Phaseolus vulgaris* ANTECEDIDO POR PLANTAS SOLUBILIZADORAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito parcial para obtenção de título de mestre em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável.

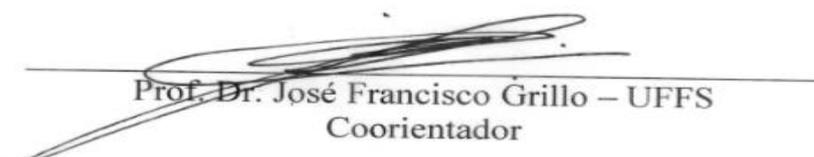
Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 07/06/2021.

**BANCA EXAMINADORA**



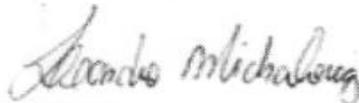
---

Prof. Dr. Henrique von Hertwig Bittencourt – UFFS  
Presidente/Orientador



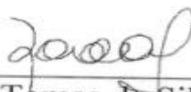
---

Prof. Dr. José Francisco Grillo – UFFS  
Coorientador



---

Prof. Dr. Leandro Michalovicz – IDR-PR  
1º Membro



---

Prof. Dr. Lisandro Tomas da Silva Bonome – UFFS  
2º Membro

## AGRADECIMENTOS

A minha eterna gratidão à Deus, em primeiro lugar, por proporcionar mais uma vitória em minha vida, apesar das dificuldades enfrentadas e conhecidas por todos os pesquisadores.

Agradeço aos meus pais e ao meu filho por todo suporte e apoio incondicional que sempre me oferecem, me mostrando que a felicidade se encontra nos momentos mais simples em que vivemos juntos.

Aos meus orientadores Prof. Dr. Henrique von Hertwig Bittencourt e Prof. Dr. José Francisco Grillo, pela paciência, compreensão e pela honra em receber seus ensinamentos novamente, agora em nível de pós-graduação. A vocês, todo o meu respeito e admiração.

Ao Prof. Dr. Lisandro Tomas da Silva Bonome (UFFS) e ao Dr. Leandro Michalovics (IDR/PR) pela honra em tê-los como participantes da banca de defesa da dissertação.

À Coordenação do PPGADR, professores, colegas de turma, bem como a toda UFFS pela oportunidade do cumprimento de mais esta etapa acadêmica.

À CAPES pela concessão de bolsa de pós-graduação.

Ao IDR-PARANÁ pela doação das sementes de plantas de cobertura utilizadas no experimento.

À Ekosolos Indústria Remineralizadora de solos, da cidade de Paula Freitas/PR, na pessoa do Engenheiro Agrônomo Fábio Pereira, pela doação do pó de rochas basálticas utilizado nos experimentos.

À M.Sc. Patrícia Krupa, ao Engenheiro Agrônomo Marcionei Crocetta Coelho e a diretoria da Cooperativa Coprossel pela compreensão, apoio e suporte financeiro na conclusão das análises.

Aos voluntários, Vitória, Luis Fernando, Nathalia, Jenifer, Daniele, Sidinei, Mateus, Carine, Alan, Rafael, Everton e Maria que passaram pela pesquisa e não mediram esforços para auxiliar nos trabalhos, com certeza fizeram toda a diferença também pela amizade, alegria e descontração.

A Prof<sup>a</sup>. Dra. Gabriela Silva Moura e ao Prof. Dr. Gilmar Franzener pela amizade, incentivo e auxílio na condução da dissertação.

A todos vocês, a minha gratidão!

**Ao meu pequeno muro (Murilo), dedico.**

GROSSELLI, M. A. INFLUÊNCIA DO USO DE PÓ DE ROCHA BASÁLTICA E BIOCARVÃO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO E NO CULTIVO ORGÂNICO DE *Phaseolus vulgaris* ANTECEDIDO POR PLANTAS SOLUBILIZADORAS. Laranjeiras Do Sul-PR, 2021. Programa de Pós Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável, Universidade Federal da Fronteira Sul.

## RESUMO

A agricultura sofreu constantes processos de transformação ao longo da história que permitiram grandes avanços no manejo de solos nos agroecossistemas. As últimas transformações estão relacionadas principalmente a diminuição do impacto da utilização de recursos naturais na agricultura e a melhoria na eficiência de utilização dos recursos disponíveis. Nessa perspectiva, o objetivo do presente trabalho avaliar a influência do uso de pó de rocha basáltica e biocarvão na fertilidade de um Latossolo intemperizado da região Cantuquiriguaçu (PR) em sistema de cultivo de espécies anuais e no desenvolvimento e rendimento de grãos de *Phaseolus vulgaris*. Foram realizados dois experimentos simultaneamente, em casa de vegetação e em campo. Nos experimentos foi utilizado arranjo bifatorial com quatro doses de adubação com pó de rocha, quatro doses de biocarvão e quatro repetições. Após a implantação dos tratamentos foi adotado sistema de sucessão de culturas na seguinte ordem: *Raphanus sativum*, *Cajanus cajan* e *Phaseolus vulgaris*. Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p < 0,05$ ) e subseqüente análise de regressão ou teste de comparação múltipla de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), conforme o caso. No experimento em casa de vegetação, houve interação entre os fatores pó de rocha e biocarvão, com elevação dos teores de Matéria Orgânica, Carbono Orgânico, P, K, Ca, Soma de Bases, CTC, K (%), bem como as relações entre Ca/K e Mg/K. Também houve redução dos teores de Alumínio no solo à partir da interação entre os fatores. Pó de rocha e Biocarvão de forma isolada influenciaram positivamente os teores de Magnésio, Mg (%), Al (%), Saturação por Bases (V%) e reduziram teores de Hidrogênio + Alumínio no solo. Ainda no experimento em casa de vegetação o biocarvão influenciou o Comprimento de Parte Aérea e a Massa Seca Total do feijão. Já no experimento a campo houve interação entre os fatores pó de rocha e biocarvão, elevando significativamente o pH (CaCl<sub>2</sub>), os teores de P, K, Ca, a Soma de Bases, a CTC, e o K (%), além das relações entre Ca/K e Mg/K. A mesma interação entre os fatores reduziu os teores de Al, H + Al e Al% no solo. Pó de rocha de forma isolada influenciou positivamente os teores de matéria orgânica, carbono orgânico e a relação entre Ca/Mg. Em plantas de feijoeiro a interação entre pó de rocha e biocarvão influenciou o comprimento de parte aérea. A massa seca total do feijoeiro foi influenciada pela dose de pó de rocha e de biocarvão isoladamente, sem a interação entre os fatores. O conjunto de resultados permitiu verificar uso promissor de condicionadores e remineralizadores do solo na recuperação de solos altamente intemperizados, sendo que trabalhos futuros devem avaliar seu comportamento em diferentes condições edafoclimáticas e cultivos agrícolas.

**Palavras-chave:** Conservação do solo, Recuperação da fertilidade do solo, plantas de lavoura.

**GROSSELLI, M. A. INFLUENCE OF THE USE OF BASALTIC ROCK POWDER AND BIOCHAR IN DISTROPHERIC RED LATOSOL AND IN THE ORGANIC CULTIVATION OF *Phaseolus vulgaris* PRECEDED BY SOLUBILIZING PLANTS.** Laranjeiras Do Sul-PR, 2021. Postgraduate Program in Agroecology and Sustainable Rural Development, Federal University of Fronteira Sul.

### **ABSTRACT**

Agriculture has undergone constant transformation processes throughout history that have allowed great advances in soil management in agroecosystems. The latest changes are mainly related to the decrease in the impact of the use of natural resources in agriculture and the improvement in the efficiency of use of available resources. In this perspective, the objective of the present work was to evaluate the performance of basaltic rock dust and biochar in the fertility of weathered soil in an organic cultivation system of *Phaseolus vulgaris*. Two experiments were carried out simultaneously, in a greenhouse and in the field. In the experiments, a bifactorial arrangement with four doses of rock powder, four doses of biochar and four replications was used. After the implantation of the treatments, a system of succession of cultures was adopted in the following order: *Raphanus sativum*, *Cajanus cajan* and *Phaseolus vulgaris*. The data were subjected to analysis of variance ( $p < 0.05$ ) and subsequent regression analysis or multiple comparison test of Tukey's means ( $p < 0.05$ ), as appropriate. In the greenhouse experiment, there was an interaction between the rock dust and biochar factors, with an increase in the contents of Organic Matter, Organic Carbon, P, K, Ca, Sum of Bases, CTC, K (%), as well as the relationships between Ca/K and Mg/K. There was also a reduction in the aluminum content in the soil due to the interaction between the factors. Rock powder and Biochar in an isolated way positively influenced the contents of Magnesium, Mg (%), Al (%), Saturation by Bases (V%) and reduced the levels of Hydrogen + Aluminum in the soil. Also in the greenhouse experiment, the biochar influenced the length of the aerial part and the total dry mass of the beans. In the field experiment, there was an interaction between the rock dust and biochar factors, significantly increasing the pH ( $\text{CaCl}_2$ ), the levels of P, K, Ca, the Sum of Bases, the CTC, and the K (%), in addition to the relationships between Ca/K and Mg/K. The same interaction between the factors reduced the levels of Al, H + Al and Al% in the soil. Rock powder in an isolated way positively influenced the contents of organic matter, organic carbon and the Ca/Mg ratio. In bean plants, the interaction between rock dust and biochar influenced the shoot length. The total dry mass of the bean was influenced by the dose of rock dust and biochar alone, without the interaction between the factors. The set of results allowed to verify the promising use of soil conditioners and remineralizers in the recovery of highly weathered soils, and future works should evaluate their behavior under different edaphoclimatic conditions and agricultural crops.

Keywords: Soil conservation, Recovery of soil fertility, annual crops.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Teor de matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ) no solo submetido doses de biocarvão e de pó de rocha.	40
Figura 2. Teor de carbono orgânico no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.	41
Figura 3. Teor de fósforo no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.	43
Figura 4. Teor de potássio no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.	44
Figura 5. Teor de cálcio presente nas amostras de solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	45
Figura 6. Teor de magnésio no solo em função da dose de pó de rocha.	45
Figura 7. Teor de alumínio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	46
Figura 8. Teor de hidrogênio + alumínio no solo em função de doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).	47
Figura 9. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	48
Figura 10. Capacidade de troca de cátions do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	50
Figura 11. Valores de saturação por bases no solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).	50
Figura 12. Valores de porcentagem de alumínio na CTC do solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).	51
Figura 13. Valores de porcentagem de cálcio na CTC do solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).	52
Figura 14. Valores de porcentagem de magnésio na CTC do solo submetido a doses de e pó de rocha.	52
Figura 15. Porcentagem de potássio na CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	53
Figura 16. Relação entre cálcio e magnésio no solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).	54
Figura 17. Relação entre cálcio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	54
Figura 18. Relação entre magnésio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	55
Figura 19. Comprimento de parte aérea do feijão em pleno florescimento (R6) em função de doses de biocarvão.	56
Figura 20. Massa seca total do feijão em pleno florescimento (R6) em função de doses de biocarvão.	57
Figura 21. pH do solo (em $\text{CaCl}_2$ ) em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.	70
Figura 22. Matéria orgânica do solo em função de doses de pó de rocha.	71

Figura 23. Carbono orgânico no solo em função de doses de pó de rocha.....	72
Figura 24. Teores de fósforo em Mehlich 1 em função de doses de biocarvão e pó de rocha. ....	73
Figura 25. Teores de potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. ....	75
Figura 26. Teores de cálcio no solo em função de doses crescentes de biocarvão e pó de rocha.....	76
Figura 27. Teor de Alumínio no solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.....	76
Figura 28. Teor de hidrogênio + alumínio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. ..	78
Figura 29. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. ....	79
Figura 30. Capacidade de troca de cátions do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha....	81
Figura 31. Porcentagem de alumínio do solo função de doses de biocarvão e pó de rocha.....	82
Figura 32. Porcentagem de potássio na CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.	83
Figura 33. Relação Ca/Mg no solo em função de doses de pó de rocha. ....	84
Figura 34. Relação Ca/K no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.....	84
Figura 35. Relação Mg/K do solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha. ....	85
Figura 36. Massa seca total de plantas de feijoeiro em pleno florescimento submetidas a doses crescentes de pó de rocha (A) e de biocarvão (B) incorporados ao solo.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química do solo utilizado no experimento. Área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Laranjeiras do Sul – PR.....	29
Tabela 2. Análise química do pó de rocha (basalto) oriundo do município de Paula Freitas-PR. ....	30
Tabela 3. Análise química do Biocarvão oriundo do município de Guarapuava/PR.....	30
Tabela 4. Teores de umidade, cinzas, matérias voláteis e carbono fixo do biocarvão.....	30
Tabela 5. Análise de Variância dos resultados obtidos a partir das pesquisas realizadas em amostras de solo sob condições de casa de vegetação.....	37
Tabela 6. Teores de Matéria Orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ) do solo submetido a doses de biocarvão e de pó de rocha.....	39
Tabela 7. Teor de carbono orgânico no solo função de doses de biocarvão e de pó de rocha.....	41
Tabela 8. Teor de fósforo no solo função de doses de biocarvão e de pó de rocha.....	42
Tabela 9. Teor de potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. ....	44
Tabela 10. Teor de cálcio no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha. ....	44

Tabela 11. Teor de alumínio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.....	45
Tabela 12. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha .....	47
Tabela 13. Capacidade de troca de cátions do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha..	50
Tabela 14. Porcentagem de potássio na CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. .....	53
Tabela 15. Relação entre cálcio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha..	54
Tabela 16. Relação entre magnésio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. .....	55
Tabela 17. Resultados da análise de variância para as variáveis do feijão. ....	56
Tabela 18. Resultado dos testes de hipótese à partir da análise de variância dos dados obtidos. ....	68
Tabela 19. pH do solo em $\text{CaCl}_2$ em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.....	69
Tabela 20. Valores dos teores de fósforo em Mehlich 1 no solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.....	73
Tabela 21. Valores dos teores de Potássio obtidos do solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.....	73
Tabela 22. Valores dos teores de cálcio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.....	74
Tabela 23. Teor de Alumínio no solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.....	76
Tabela 24. Teor de hidrogênio + alumínio do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. ..	77
Tabela 25. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha .....	78
Tabela 26. CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.....	81
Tabela 27. Porcentagem de alumínio do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. ....	82
Tabela 28. Porcentagem de potássio na CTC dos solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha. .....	83
Tabela 29. Valores referentes a relação entre Cálcio e Potássio (Ca/K) obtidos a partir de análise do solo em condições de campo, em função de doses de biocarvão e de pó de rocha. ....	84
Tabela 30. Relação Mg/K do solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha .....	84
Tabela 31. Resultados do teste de hipótese à partir das análises de variância para as variáveis do feijão. .....	85
Tabela 32. Comprimento da parte aérea de plantas de feijão em função de doses de biocarvão e pó de rocha incorporadas no solo.....	86

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS .....	16
2.1 OBJETIVO GERAL .....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. HIPÓTESE .....	17
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
4.1 BIOCÁRVÃO.....	19
4.2 PÓ DE ROCHA BASÁLTICA .....	21
4.3. PLANTAS SOLUBILIZADORAS DE NUTRIENTES .....	22
4.3.1. Nabo forrageiro .....	23
4.3.2. Feijão guandu.....	24
4.4. FEIJÃO.....	25
5. EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO .....	27
5.1. METODOLOGIA.....	28
5.1.1. Implantação do experimento .....	28
5.1.2. Delineamento experimental e análise dos dados .....	31
5.1.3. Variáveis .....	31
5.1.4. Análises do solo.....	32
5.1.4.1. Determinação de pH em CaCl <sub>2</sub> .....	33
5.1.4.2. Determinação Matéria Orgânica e Carbono Orgânico.....	33
5.1.4.3. Determinação de Fósforo.....	34
5.1.4.4. Determinação de Cálcio.....	34
5.1.4.5. Determinação de Magnésio.....	34
5.1.4.6. Determinação de Potássio.....	35
5.1.4.7. Determinação de Alumínio.....	35
5.1.4.8. Determinação de H <sup>+</sup> Al.....	35
5.1.4.9. Determinação de Soma de Bases.....	35
5.1.4.10. Determinação da Capacidade de Troca de Cátions.....	36
5.1.4.11. Determinação da Saturação por Bases.....	36
5.1.4.12. Determinação da Saturação por Alumínio.....	36
5.1.4.13. Determinação De Cálcio, Magnésio e Potássio.....	36
5.1.4.14. Determinação das relações entre Ca/Mg, Ca/K e Mg/K.....	36
5.1.5. Análises em feijão .....	36
5.1.5.1. Massa Seca Total.....	37
5.1.5.2 Comprimento de parte aérea.....	36
5.1.5.3 Comprimento radicular.....	36
5.1.5.4 Contagem do número de nódulos radiculares por vaso.....	36
5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.2.1. Solo .....	37
5.2.2. Matéria Orgânica .....	38
5.2.3. Carbono orgânico.....	41
5.2.4. Fósforo.....	42
5.2.5. Potássio.....	43
5.2.6. Cálcio.....	45
5.2.7. Magnésio.....	45
5.2.8. Alumínio .....	45
5.2.9. Hidrogênio + Alumínio .....	46
5.2.10. Soma de bases.....	47
5.2.11. Capacidade de Troca Catiônica.....	48
5.2.12. Saturação por bases.....	50
5.2.13. Porcentagem de Alumínio na CTC.....	51
5.2.14. Porcentagem de Cálcio na CTC .....	51

5.2.15. Porcentagem de Magnésio na CTC.....	53
5.2.16. Porcentagem de potássio na CTC.....	53
5.2.17. Relação entre cálcio e magnésio.....	54
5.2.18. Relação entre cálcio e potássio .....	54
5.2.19. Relação entre magnésio e potássio .....	54
5.3. FEIJÃO.....	55
5.3.1. Comprimento de parte aérea .....	56
5.3.2. Massa seca total.....	57
5.4. CONCLUSÃO .....	58
6. EXPERIMENTO DE CAMPO .....	59
6.1. METODOLOGIA.....	62
6.1.1. Implantação do experimento em campo.....	62
6.1.2. Delineamento experimental .....	63
6.1.3. Análise de solo .....	63
6.1.3.1. Determinação de pH em CaCl <sub>2</sub> .....	63
6.1.3.2. Determinação de Matéria Orgânica e Carbono Orgânico.....	64
6.1.3.3. Determinação de Fósforo.....	64
6.1.3.4. Determinação de Cálcio.....	64
6.1.3.5. Determinação de Magnésio .....	65
6.1.3.6. Determinação de Potássio .....	65
6.1.3.7. Determinação de Alumínio.....	64
6.1.3.8. Determinação de H + Al .....	65
6.1.3.9. Determinação de Soma de Bases.....	65
6.1.3.10. Determinação da Capacidade de Troca de Cátions.....	65
6.1.3.11. Determinação da Saturação por Bases .....	65
6.1.3.12. Determinação da Saturação por Alumínio .....	65
6.1.3.13. Determinação De Cálcio, Magnésio e Potássio .....	66
6.1.3.14. Determinação das relações entre Ca/Mg, Ca/K e Mg/K.....	66
6.1.4. Análises em feijão.....	67
6.1.4.1. Massa Seca Total.....	66
6.1.4.2. Comprimento de parte aérea.....	66
6.1.4.3. Determinação da produtividade do feijoeiro.....	67
6.1.4.4. Determinação do número de vagens por planta.....	67
6.1.4.5. Determinação do número de grãos por vagens.....	67
6.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	67
6.2.1. Solo.....	68
6.2.1.1. pH CaCl <sub>2</sub> .....	68
6.2.1.2. Matéria Orgânica.....	71
6.2.1.3. Carbono Orgânico.....	72
6.2.1.4. Fósforo .....	72
6.2.1.5. Potássio .....	74
6.2.1.6. Cálcio.....	74
6.2.1.7. Alumínio.....	76
6.2.1.8. Hidrogênio + alumínio .....	77
6.2.1.9. Soma de bases.....	78
6.2.1.10. Capacidade de Troca Catiônica .....	80
6.2.1.11. Porcentagem de Alumínio na CTC do solo.....	82
6.2.1.12. Porcentagem de potássio na CTC do solo.....	83
6.2.1.13. Relação entre Cálcio e Magnésio.....	83
6.2.1.14. Relação entre Cálcio e Potássio.....	83
6.2.1.15. Relação entre Magnésio e Potássio .....	84
6.2.2. Feijão .....	85
6.2.2.1. Comprimento de parte aérea.....	86
6.2.2.2. Massa seca total de feijão .....	87

6.3. CONCLUSÃO .....	87
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	88
8. REFERÊNCIAS.....	91
ANEXOS .....	100

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura, sofreu constantes processos de transformação ao longo da história em diversas regiões do mundo, especialmente a partir da década de 1950 com o denominado processo de modernização da agricultura. As modificações promovidas pela modernização da agricultura promoveram inúmeros avanços tecnológicos, facilitando o manejo das culturas agrícolas e permitindo o aumento expressivo na escala de cultivo de diversas culturas agrícolas impulsionada pela demanda crescente da população e indústria.

O aumento na escala produtiva, entretanto, apesar de permitir a elevação da produção aumentou a demanda por recursos naturais empregados, por exemplo, na obtenção de fertilizantes para os solos agrícolas. As fontes tradicionais de N costumam demandar elevadas quantidades de combustíveis fósseis para sua síntese enquanto as fontes de fósforo são finitas e tendem a se apresentar cada vez mais escassas. Com isso, espera-se que o aumento na demanda mundial pelos fertilizantes encareça o preço desses insumos e sua disponibilidade para os agricultores.

Plantas cultivadas em lavouras, como *Phaseolus vulgaris*, costumam ser exigentes em nitrogênio, fósforo e outros nutrientes extraídos do solo pelo seu sistema radicular. Em virtude de grande parte dos solos agrícolas brasileiros apresentarem elevado nível de intemperização, é comum que as culturas anuais careçam da disponibilidade dos nutrientes necessários para a expressão do seu máximo potencial produtivo.

Por essa razão, alternativas economicamente viáveis e eficientes na fertilização de solos agrícolas costumam ser bem aceitas no meio agrícola, tanto na agricultura convencional quanto na orgânica. De fato, existem inúmeras possibilidades no manejo alternativo da fertilidade do solo agrícola que visam diminuição da dependência de insumos provenientes de lugares distantes e de tecnologias onerosas do ponto de vista econômico e ambiental. Entre as alternativas destacam-se o uso de remineralizadores, condicionadores de solo e plantas solubilizadoras de nutrientes.

A utilização de técnicas e insumos alternativos no manejo da fertilidade do solo agrícola pode resultar em respostas positivas do sistema solo-planta. Para isso é preciso que sejam respeitadas tanto as características edafoclimáticas de cada agroecossistema quanto ao tempo necessário para se obter tais respostas. Sendo assim, a combinação de um remineralizador com um condicionador de solo pode auxiliar na recuperação de solos intemperizados, ainda mais quando aliados ao uso de plantas com potenciais de solubilização de nutrientes.

A rochagem é uma técnica de uso de rochas moídas que vem conquistando espaço por ser mais acessível aos produtores e também por ser menos solúvel que os adubos químicos convencionais. Com a liberação dos nutrientes de forma mais lenta que as fontes convencionais de P, é diminuído o processo de lixiviação que pode ocasionar a eutrofização de rios e lagos. O mesmo ocorre com o biocarvão, produto rico em carbono resultante da pirólise de biomassa de plantas com grande potencial em aumentar os teores de alguns nutrientes na solução do solo. Supõe-se que a associação entre biocarvão e rochagem apresente a vantagem do primeiro fornecer nitrogênio às plantas cultivadas e acelerar a velocidade de intemperização dos minerais contidos no último.

Além dos benefícios relacionados ao aumento na oferta de nutrientes para as plantas cultivadas, elas também podem se beneficiar de relações ecológicas. Associações mutualísticas, como a que envolve plantas com bactérias fixadoras de nitrogênio, podem ser impulsionadas pela melhoria nas condições ambientais ocasionadas pela adição de biocarvão ao solo. Com isso, a dependência do nitrogênio sintético pode ser diminuída ou até mesmo suprimida em sua totalidade.

Por essas razões, pode-se enumerar algumas justificativas importantes para o estudo da utilização de fontes alternativas de nitrogênio e fósforo que apresentam potencial também como condicionadores do solo: pelo potencial impacto econômico e social que esses insumos apresentam na produção agrícola de grãos no Brasil; por constituir uma alternativa potencial as fontes tradicionais de nutrientes utilizados nesses sistemas de cultivo que demandam recursos naturais pela mineração e combustíveis fósseis para síntese e transporte, cujo impacto incide sobre o ambiente, e; por se tratar de insumos disponíveis na região onde o trabalho foi desenvolvido, sendo portanto, de fácil acesso aos agricultores.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a influência do uso de pó de rocha basáltica e biocarvão na fertilidade de um LATOSSOLO intemperizado da região Cantuquiriguaçu (PR) em sistema de cultivo de espécies anuais e no desenvolvimento e rendimento de grãos de *Phaseolus vulgaris*.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

a) Identificar as possíveis interações entre fontes e doses de fertilizantes (pó de rocha e biocarvão) em um solo com alto grau de intemperização;

- b) Determinar as melhores doses de pó de rocha e biocarvão na recuperação da fertilidade de um solo com alto grau de intemperização;
- c) Verificar a influência das doses de pó de rocha e do biocarvão no desenvolvimento e no rendimento de grãos de *Phaseolus vulgaris*.

### **3. HIPÓTESE**

A utilização de pó de rocha basáltica associada ao biocarvão promove a remineralização de nutrientes no solo, influenciando positivamente nas variáveis das análises químicas do solo relacionadas a nutrição vegetal, bem como promovendo o desenvolvimento e a produção de grãos de *Phaseolus vulgaris*, a partir de um manejo adequado do solo com o uso de plantas solubilizadoras.

### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Os solos brasileiros são altamente intemperizados, em sua maioria, devido ao clima predominantemente tropical. Como características dos solos intemperizados, destacam-se os baixos teores de matéria orgânica (M.O.) e o Fósforo (P) para atender as demandas das plantas de lavoura. A matéria orgânica está associada a disponibilidade de nitrogênio as plantas à partir do processo de mineralização. Já o fósforo é um elemento que além de precisar estar presente em quantidade suficiente no solo, precisa estar disponível para absorção pelo sistema radicular. Nessa perspectiva, a disponibilidade de P pode ser influenciada pela relação do nutriente com outros elementos presentes no solo, sendo adsorvido aos óxidos hidratados de Fe e Al (OLIVEIRA et al., 2012).

Os solos tropicais costumam ser mais suscetíveis aos processos de intemperização que os solos das regiões temperadas (BRANDÃO et al., 2012). Por essa razão a recuperação da fertilidade de solos altamente intemperizados costuma demandar tempo e práticas que levem em consideração as particularidades do ambiente para permitir beneficiar o sistema de produção como um todo (EMBRAPA, 2018). Nessa perspectiva o uso de remineralizadores (como o pó de rocha basáltica) e condicionadores de solos (como o biocarvão) podem constituir alternativas sustentáveis para a recuperação da fertilidade (GOMES; ASSIS, 2013).

Nos ambientes tropicais, a matéria orgânica do solo tem importância elevada. É amplamente reconhecida por seus efeitos benéficos à física e química dos solos devido a melhor agregação e retenção de água, maior CTC e disponibilidade de nutrientes (LIMA, 2016). Os adubos orgânicos fornecem nutrientes, melhoram as condições do solo e apresentam

bioatividade, ou seja, efeitos estimulantes nas plantas como indução de crescimento e melhora na qualidade nutricional, os quais vêm justificando a crescente comercialização de bioestimulantes e fertilizantes de base orgânica (ZANDONADI et al., 2014).

Entretanto, cerca de 80% dos fertilizantes consumidos no Brasil são os químicos convencionais compostos por nitrogênio, fósforo e potássio, os chamados NPK, conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2019). Os nutrientes que constituem os fertilizantes empregados na agricultura brasileira provêm de diversos países do mundo, alguns afastados milhares de quilômetros do local onde serão utilizados, exigindo complexas redes de transporte e logística que encarecem o produto (BRANDÃO, 2012). Estima-se que 95% do elemento K, por exemplo, seja importado (TAVARES; HABERLI JÚNIOR, 2011).

Além das fontes externas constituírem um entrave econômico para a aquisição dos insumos, muitos destes fertilizantes apresentam elevada concentração e alta solubilidade. Essa característica associada as condições tropicais encontradas em boa parte do Brasil facilitam a ocorrência de perdas dos nutrientes por lixiviação. A elevada mobilidade de alguns desses nutrientes também pode ocasionar salinização dos solos agrícolas e a contaminação do lençol freático e a eutrofização de corpos de água.

A presença dos nutrientes em quantidades e proporções distintas das necessidades requeridas pelas plantas cultivadas também pode causar efeitos indesejáveis nas plantas cultivadas. Entre eles destacam-se os distúrbios metabólicos, como a desregulação da proteólise e proteossíntese, que podem permitir a presença de substâncias simples solúveis e livres na seiva e no suco celular do tecido vegetal, como esteróis, açúcares, aminoácidos e vitaminas. A presença dessas substâncias livres apresenta efeito atrativo e dá condições para o surgimento de pragas e fitopatógenos (MINGUETTI, 2012; KNABBEN, 2016).

Por conta desse conjunto de fatores, diversos estudos vem sendo realizados no Brasil para redução da utilização dos fertilizantes altamente solúveis (NUNES, 2012). Entre elas estão aquelas que visam a viabilização de novas fontes minerais de nutrientes (DUARTE et al., 2012). O pó de rocha basáltica e o biocarvão, por exemplo, proporcionam respostas vantajosas em solos intemperizados, permitindo a reconstituição tanto da fração orgânica quanto da fração mineral do solo simultaneamente. Este processo de fertilização conjunta associado ao uso de plantas que facilitam a solubilização de P oriundo da rochagem pode proporcionar respostas positivas para culturas anuais. Embora seja estudado no mundo todo por diversas áreas da ciência (WEB OF SCIENCE, 2017), as pesquisas sobre os efeitos do biocarvão em solos tropicais intemperizados, com baixa capacidade de armazenamento de água e nutrientes, como

a maioria dos solos encontrados no Brasil em algumas regiões do estado do Paraná, tornam-se necessárias e poderão viabilizar novas práticas sustentáveis de manejo, inclusive em associação com a rochagem.

Estudos sobre os efeitos de técnicas orgânicas de adubação na nutrição de plantas e na capacidade de produção de grãos são necessárias para permitir a diminuição na dependência dos fertilizantes minerais solúveis. Dessa forma, a associação de práticas de manejo conservacionista com a adubação de pó de rocha, biocarvão e adubos verdes pode disponibilizar nutrientes no solo e diminuir os custos de produção das culturas agrícolas (PITTELKOW et al., 2015), constituindo uma alternativa aos fertilizantes altamente solúveis.

#### 4.1 BIOCARVÃO

O biocarvão (*biochar* em inglês) é produzido através da pirólise, uma tecnologia alternativa que é custo-efetiva e ambientalmente limpa que permite reciclar materiais e reduzir os resíduos sólidos (TAN et al., 2014). A pirólise é a decomposição térmica do material orgânico sob alimentação limitada de oxigênio e temperaturas relativamente baixas, assemelhando-se à produção de carvão vegetal com fim energético (ANGIN; SENSOZ, 2014). Nela ocorre a degradação térmica de componentes moleculares extrativos, hemiceluloses, celulose e lignina, a redução da umidade da matriz e como resultado obtêm-se produtos com potencial energético e propriedades de uso ainda superiores a biomassa inicial (PROTÁSIO, 2014).

No processo de produção do biocarvão, no entanto, ocorre a geração de partículas pequenas que não apresentam utilidade para serem empregados como fonte energética. Esses resíduos do processo de carvão vegetal apresentam potencial como condicionador de solo, melhorando suas propriedades físicas, químicas e biológicas (LONE et al., 2015). A aplicação de biocarvão tem grande potencial de aumentar os teores de alguns nutrientes na solução do solo. Isso ocorre devido a elevada quantidade de nutrientes presentes na matriz vegetal, que se concentram com o processo de pirólise. Sua aplicação no solo aumenta a adsorção e reduz a lixiviação de nutrientes (GAO et al., 2016; MÉNDEZ et al., 2013).

O biocarvão pode melhorar a qualidade do solo pelo fato de apresentar uma diversidade de substâncias orgânicas e inorgânicas. Portanto, suas propriedades físico-químicas são determinantes para o sucesso de sua utilização no solo. A variação das propriedades físico-químicas é dependente, principalmente, da composição elementar da matéria-prima vegetal, do processo de produção e do tamanho das partículas (NOVAK et al., 2014).

A aplicação de biocarvão de palha de arroz em experimento em casa de vegetação aumentou a produtividade de arroz e trigo e a absorção de N, P, K, Ca e Mg, devido principalmente ao aumento na disponibilidade de P, K, Ca e Mg nos solos com incorporação de biocarvão (ZHAO et al., 2014). Em outro estudo com biocarvão de palha de trigo e dos resíduos da poda de oliveiras houve incremento na disponibilidade de P nos solos onde o material foi incorporado após a incubação em casa de vegetação por dois meses (ALBURQUERQUE et al., 2013).

Já foi registrado também o aumento na disponibilidade de cátions trocáveis no solo, nível de pH e de fósforo disponível com a aplicação de biocarvão, o que reforça a eficiência deste adubo orgânico (TRAZZI, 2014; SOHI, 2012). O biocarvão pode provocar ainda aumento da retenção de água e nutrientes (PAZ-FERREIRO et al., 2014), melhorando parâmetros biológicos além dos físicos e químicos já citados (PARK et al., 2012). Além do impacto positivo no cultivo agrícola o biocarvão auxilia no sequestro de carbono no solo (KOOKANA et al., 2011).

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), declara que a agricultura, a silvicultura e demais formas de uso da terra foram responsáveis por aproximadamente 25% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) em 2010, sendo este um dos gases de efeito estufa (GEE) responsáveis pelo aumento das temperaturas globais. O biocarvão foi citado no relatório do IPCC como uma potencial nova tecnologia que poderia contribuir para a mitigação de gases do efeito estufa incluídos no setor de Agricultura, Floresta e Uso do Solo, contudo, ainda são limitadas as evidências que fazem estimativas robustas que comprovem a sua real eficácia (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014).

Vários tipos de biomassa podem ser utilizados como fonte para a produção de biocarvão, por exemplo, aparas de madeira, esterco e resíduos de colheita (TANG et al., 2013), como é o caso da casca do arroz e do trigo além da biomassa oriunda do endocarpo do coco babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.). Esta palmeira tem sido alvo de diversos estudos, auxiliando, principalmente, a agricultura de subsistência (REIS et al., 2015). Utilizada principalmente no Norte e Nordeste do Brasil, apresentou no ano de 2013 uma produção de 102,3 mil toneladas (SFB, 2013), com diversas finalidades, tais como uso alimentício, geração de energia e material para construções rurais.

O resíduo dessa cultura é transportado para diversos estados brasileiros com a finalidade de ser transformado em carvão para os mais diferentes usos. Além da produção de carvão

ativado, é gerado o biocarvão. Produto que pode ser incorporado ao solo já que apresenta potenciais de adubação, conforme a Norma Brasileira Registrada (NBR) 8112 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1986). Estima-se que os babaçuais estão distribuídos por 15 milhões de hectares do território brasileiro (IBGE, 2016). Em se tratando do aspecto financeiro, a viabilidade econômica do biocarvão é dependente do impacto da sua utilização para a produtividade da cultura, do custo de produção, matéria-prima e transporte para local de aplicação (BURNS et al., 2014).

#### 4.2 PÓ DE ROCHA BASÁLTICA

A técnica de rochagem, utilizando pó de rocha, vem sendo utilizada em escala internacional para suprir necessidade de fertilização de solos agrícolas. Ela é amplamente difundida entre agricultores que cultivam produtos orgânicos pela proibição de utilização de fertilizantes altamente solúveis. Entretanto, sua utilização na recuperação da fertilidade de solos altamente intemperizados ainda é pouco conhecida (SANTOS, 2017).

O pó de rocha, quando atende as exigências mínimas da legislação brasileira, recebe a denominação de remineralizador. Para que isso ocorra o produto deve conter soma de óxidos totais de cálcio, magnésio e potássio (soma de bases) superior a 9%, teores de sílica livre inferior a 25% e baixos teores de arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo (BRASIL, 2016).

Os remineralizadores são definidos como categoria de insumo destinado à agricultura, conforme Lei nº 12.890/2013. São definidos como materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução de tamanho por processos mecânicos e que alterem a fertilidade do solo por meio de adição de nutrientes para as plantas, bem como, melhorar as propriedades físicas ou físico-químicas ou ainda a atividade biológica no solo (BRASIL, 2016).

O empobrecimento químico do solo em razão dos fatores e processos de formação acarretam grandes prejuízos na implementação de algumas culturas em países de clima tropical (ASSIS et al., 2013). Por essa razão surge a necessidade de estudos para a incorporação de fertilizantes remineralizadores que possam permitir que o solo forneça ambiente adequado para o bom desenvolvimento das culturas agrícolas.

A produção de alimentos em sistemas orgânicos tem aumentado em todo o mundo em função do aumento na demanda de produtos agrícolas sem a presença de substâncias químicas nocivas à saúde humana e obtidos em processos de produção com menor dano ambiental e a saúde pública. Nos sistemas de produção orgânicos o emprego de pesticidas e adubos prontamente solúveis não é permitido (NUNES, 2012). Sendo assim, o uso de rochas moídas

sempre foi importante para garantir a produção orgânica em diversos países do mundo (BERGMANN et al., 2014).

A rochagem apresenta grandes vantagens devido, principalmente aos custos para sua aquisição em comparação aos fertilizantes altamente solúveis, a possibilidade de transformação de resíduos em insumos, bem como para a ampliação no mercado de produtos de pedreiras (NUNES, 2012). De modo geral, a solubilização e a disponibilização de uma ampla gama de nutrientes presentes em rochas moídas, é mais lenta do que nos fertilizantes químicos solúveis. Porém, essa aparente fragilidade é compensada por uma oferta multivariada de elementos por um período mais longo (maior efeito residual no solo), uma vez que os nutrientes são liberados de forma mais lenta que nos fertilizantes altamente solúveis. Para esse tipo de fertilização é essencial combinar a mineralogia e geoquímica da rocha selecionada com as características edafoclimáticas e necessidade das culturas agrícolas (SOUZA, 2014).

#### 4.3. PLANTAS SOLUBILIZADORAS DE NUTRIENTES

No Brasil, as plantas de cobertura ou adubos verdes são conhecidos há quase um século, sendo adotadas nos diferentes sistemas de produção, com resultados agrícolas, ambientais e econômicos positivos (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014). Além de promover a cobertura do solo e conseqüentemente sua proteção, algumas espécies de adubos verdes podem adicionalmente auxiliar no processo de solubilização de nutrientes presentes no solo, mas indisponíveis para as culturas agrícolas.

Tais plantas, por serem cultivadas há décadas em solos ácidos de baixa disponibilidade de P, condição comum nos solos tropicais altamente intemperizados do Brasil, podem ter adquirido mecanismos de tolerância à baixa disponibilidade deste nutriente, exsudando enzimas, favorecendo comunidades microbiológicas de fungos micorrízicos e atuando como potencializadoras na solubilização de fosfatos menos solúveis (LEITE, 2018). Considerando que os solos brasileiros, na sua maioria classificados como Latossolo tendem a adsorver o P, deixando-o indisponível para a cultura agrícola, plantas que revertem o quadro de adsorção podem promover maior disponibilidade de P para a cultura (EMBRAPA, 2018).

Ainda, o uso de plantas de cobertura vem ao encontro das necessidades produtivas e financeiras de diversos agricultores familiares, pois a deposição de resíduo vegetal na superfície do solo em curto período de tempo permite o aumento da fertilidade do solo, a regulação de problemas fitossanitários do sistema, a proteção física do solo contra a radiação solar e o impacto das gotas da chuva (LEITE, 2018) e permitem auxiliar no manejo de plantas daninhas

(ALTIERI et al., 2011). As plantas de cobertura de solo ainda podem auxiliar no controle natural de pragas e doenças, como por exemplo, os nematóides fitopatogênicos, com menor incidência em solos com maiores teores de matéria orgânica (CALEGARI, 2018). Esse conjunto de modificações permite o aumento da diversidade das espécies no solo, favorecendo o equilíbrio do agroecossistema e promovendo a saúde das plantas cultivadas.

A utilização de plantas de cobertura do solo também possibilita a manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica no solo em sistemas de manejo conservacionista como a semeadura direta ou cultivo mínimo. Por isso ocorre menor taxa de perda de N e maior taxa de adição de matéria orgânica no sistema solo (COOPER et al., 2016).

Com isso, promove-se ambiente favorável ao crescimento das plantas, contribuindo para a estabilização da produção agrícola, sustentabilidade do solo, além da menor dependência de insumos externos. Portanto, práticas simples, indicadas para evitar a degradação e facilitar a liberação de nutrientes como o fósforo nos solos, apresentam potencial para serem mais difundidas pelos agricultores brasileiros (BRANDÃO et al., 2012).

#### 4.3.1. Nabo forrageiro

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) é uma planta da família Brassicaceae muito cultivada na Ásia Oriental e Europa. No entanto no Brasil, o cultivo ocorre principalmente nas regiões com temperaturas amenas do Sul do Brasil (TIECHER, 2016). Isto se deve ao fato de que o desenvolvimento do nabo forrageiro é favorecido por uma série de fatores ambientais (SANTOS et al., 2018).

A produtividade média da espécie apresenta valores bem variáveis na literatura, sendo as diferenças atribuídas às diferentes regiões onde os estudos foram conduzidos, ou seja, variações nas condições edafoclimáticas além do espaçamento e densidades de semeadura (SANTOS et al., (2018). A produtividade da parte aérea do nabo forrageiro fica entre 3.500 kg ha<sup>-1</sup> a 8.000 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca (TIECHER, 2016).

É indicado que o espaçamento entre linhas durante o plantio seja de 20 cm a 40 cm, e maior que estes quando a produção de grãos é o objetivo principal. São gastos, em média, de 3 a 15 kg ha<sup>-1</sup> (SANTOS et al., 2013) de sementes, representando 25 sementes por metro linear (EMBRAPA, 2017).

O nabo forrageiro é uma cultura altamente rústica e bastante utilizado na adubação verde, devido as suas grossas raízes pivotantes que penetram o solo e sendo classificada por essa razão como uma planta com capacidade de auxiliar na descompactação do solo. Suas raízes

promovem importantes efeitos físicos no solo, tornando este mais permeável e solto, permitindo um desenvolvimento biológico significativo. Estas raízes criam canalículos ou orifícios, por onde a água penetra, tornando mais permeável e melhorando a condutividade hídrica dos solos agrícolas (CREMONEZ, 2013; HERNANI, 2012).

Em rotação de culturas e na alimentação animal, o nabo forrageiro caracteriza-se pela alta produção de matéria orgânica que retorna ao solo devolvendo os nutrientes ao ciclo natural, principalmente tratando-se de nitrogênio e potássio. Além disso, é uma espécie com alta tolerância à geada e ao déficit hídrico, consegue bom desenvolvimento em solos com valores de saturação por bases menor que 50%, sendo resistente a doenças e pragas (BARROS; JARDINE, 2012). Sua fitomassa tem decomposição rápida devido à baixa relação entre carbono e nitrogênio (HERNANI, 2012).

O uso da adubação com pó de rocha associada a técnicas como as plantas de cobertura, mostra-se como uma estratégia promissora para melhorar a qualidade do solo, onde o manejo da biomassa vegetal (palhada, cobertura morta) auxilia na solubilização dos nutrientes contidos nos minerais das rochas, possibilitando aumento na fertilidade do solo, do teor de nutrientes e da matéria orgânica (NICHOLS et al., 2015). Sendo assim, o nabo forrageiro apresenta grande potencial de contribuição ao manejo de recuperação da fertilidade natural do solo, em sistemas orgânicos e nos demais sistemas agrícolas.

#### 4.3.2. Feijão guandu

O feijão guandu (*Cajanus cajan* L.) é uma leguminosa originária da Índia e foi introduzida no Brasil e Guianas pela rota dos escravos procedentes da África, onde assumiu importância como fonte de alimento humano (GODOY e SANTOS, 2011).

O feijão guandu caracteriza-se como uma planta multiuso, podendo ser utilizada tanto como adubo verde (mobilizadora de nutrientes, recuperadora e protetora do solo) quanto como quebra vento ou para sombreamento temporário, para a alimentação humana e animal e para a confecção de artesanato (WUTKE et al., 2014). Um dos benefícios do uso do feijão guandu como adubo verde é o fato ser capaz de reduzir a população de diversos nematóides presentes no solo (CALEGARI, 2018).

Além disso, o feijão guandu apresenta efeitos alelopáticos sobre plantas espontâneas (CALEGARI, 2016), possui um sistema radicular vigoroso, que se desenvolve bem em profundidade, proporcionando a capacidade de tolerar longos períodos de estiagem e o rompimento de camadas compactadas do solo. Por essa razão é chamado por alguns agricultores

como “subsolador biológico”, desenvolvendo-se bem em solos de baixa a média fertilidade e tolerando a presença de alumínio (WUTKE et al., 2014).

O feijão guandu é capaz de acumular biomassa mesmo em áreas degradadas pobres em fósforo (HERNANI; PADOVAN, 2014), pois apresenta alta capacidade de reciclar e liberar este nutriente de substâncias pouco solúveis (SILVA et al., 2014). Dessa forma, pode ser um suporte para a utilização de pó de rocha. Uma característica importante das plantas leguminosas é a baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), aspecto que, aliado à presença de substâncias solúveis em grandes quantidades, tais como aminoácidos livres e açúcares redutores, facilita a ação de microrganismos na sua decomposição (CORREIA et al., 2014).

A fixação de nitrogênio atmosférico ( $N_2$ ) nas leguminosas ocorre à partir da associação simbiótica das plantas com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. Além disso possuem biomassa rica em P, K e Ca, bem como sistema radicular ramificado e profundo, que facilitam a ciclagem de nutrientes do solo, tornando-os disponíveis para as culturas sucessoras de interesse econômico (TEODORO et al., 2011). As espécies leguminosas, além de contribuírem com a produção de massa seca, que se refletem no rendimento das culturas subsequentes pela capacidade de ciclagem de nutrientes, têm relações simbióticas com fungos que podem aumentar atividade microbiológica do solo e possuem capacidade de solubilizar fosfatos (CORREIA et al., 2014).

#### 4.4. FEIJÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é cultivado em todo território brasileiro, sendo que na safra 2017/18 foram cultivados 3,1 milhões de hectares com uma produção em torno de 3,3 milhões de toneladas e produtividade média de 1.043 kg ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2018). O feijão é uma leguminosa consumida por 70% dos brasileiros (CONAB, 2016).

No ano de 2016, o Brasil se encontrava como o terceiro maior produtor mundial de feijão, ficando atrás de Mianmar e Índia, tendo a safra 2013/2014 alcançado perto de três e meio milhões de toneladas, referentes a uma área total colhida de, aproximadamente, três milhões de hectares e apresentando quatro principais estados produtores: Paraná, Minas Gerais, São Paulo e Goiás (CONAB, 2016).

O feijão é considerado a principal fonte de proteína vegetal de consumo direto no Brasil (GONÇALVES et al., 2015). Além disso, possui quantidade considerável de carboidratos, fibras, ferro e vitaminas do complexo B presentes no grão (RODRIGUES, 2017). A cultura do feijão apresenta peculiaridades que a torna singular na produção brasileira de grãos: a

possibilidade de realizar três safras (em determinadas regiões) e o seu cultivo em todo o território nacional. Por isso, as diferenças edafoclimáticas das distintas regiões brasileiras permitem que ocorra plantio e colheita quase que simultaneamente (CONAB, 2017).

São conhecidas as dificuldades de manejo da cultura do feijão, os problemas sanitários, a possibilidade de clima chuvoso na época de colheita e dos problemas de comercialização, dada às características do feijão e às exigências de qualidade de mercado (CONAB, 2017). Além disso, o feijão comum possui um curto sistema radicular que proporciona atingir poucas profundidades. Por outro lado, adapta-se a solos levemente arenosos até altamente argilosos, basta o solo fornecer nutrientes necessários ao desenvolvimento da cultura (PEREIRA et al. 2014).

As interações de materiais como o biocarvão com os microrganismos responsáveis por realizar a fixação biológica de Nitrogênio, geram alterações de pH, taxas de decomposição da matéria orgânica, bem como disponibilidade de energia para a microbiota do solo e  $\text{NH}_4^+$  para as plantas (DU et al., 2014). O cultivo de leguminosas eficientes na FBN deve ser uma estratégia priorizada para suprimento do nitrogênio na agricultura orgânica (GUERRA et al., 2013).

## 5. EXPERIMENTO EM CASA DE VEGETAÇÃO

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar alternativas de fertilização do solo para culturas anuais em sistemas de produção orgânica. Foi conduzido experimento em casa de vegetação utilizando Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com esquema de arranjo bifatorial com quatro doses de pó de rocha combinadas a quatro doses de biocarvão com 4 repetições. Após a implantação dos tratamentos foi adotado sistema de rotação de culturas na seguinte ordem: *Cajanus cajan*, *Raphanus sativum* e *Phaseolus vulgaris*. No solo, foram analisadas as seguintes variáveis: pH ( $\text{CaCl}_2$ ), matéria orgânica, C orgânico, P-Mehlich 1, K, Ca, Mg, Al, H+Al, soma de bases, capacidade de troca catiônica total; saturação por bases, %Al, %Ca, %Mg, %K, Ca/Mg, Ca/K e Mg/K. Na cultura do feijoeiro foram avaliadas: massa seca total; comprimento de parte aérea; comprimento radicular e número de nódulos. Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p < 0,05$ ) e subsequente análise de regressão ou teste de comparação múltipla de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), conforme o caso. Houve interação entre pó de rocha e biocarvão elevando os teores de matéria orgânica, carbono orgânico, fósforo, potássio, cálcio, soma de bases, CTC, potássio (%), relação entre Ca/K e Mg/K e redução dos teores de alumínio no substrato. Pó de rocha e biocarvão influenciaram, de forma isolada, positivamente os teores de magnésio, Mg (%), Al (%), saturação por bases e reduziram teores de hidrogênio + alumínio. O feijoeiro foi influenciado pelas doses de biocarvão em relação ao comprimento de parte aérea e massa seca total. Com isso, conclui-se que tanto pó de rocha basáltica quanto o biocarvão apresentam potencial para serem utilizados na recuperação de substratos pobres em nutrientes.

Palavras-chave: rochagem, recuperação da fertilidade de solos, sistema solo-planta.

### ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate soil fertilization alternatives for annual crops in organic production systems. An experiment was carried out in a greenhouse using a completely randomized design (DIC) with a bifactorial arrangement scheme with four doses of rock dust combined with four doses of biochar with 4 repetitions. After the implementation of the treatments, a crop rotation system was adopted in the following order: *Cajanus cajan*, *Raphanus sativum* and *Phaseolus vulgaris*. In the soil, the following variables were analyzed: pH ( $\text{CaCl}_2$ ), organic matter, organic C, P-Mehlich 1, K, Ca, Mg, Al, H + Al, sum of bases, total cation exchange capacity; base saturation, %Al, %Ca, %Mg, %K, Ca/Mg, Ca/K, and Mg/K. In common bean, the following were evaluated: total dry mass; aerial part length; root length and number of nodules. The data were subjected to analysis of variance ( $p < 0.05$ ) and subsequent regression analysis or multiple comparison test of Tukey's means ( $p < 0.05$ ), as appropriate. There was interaction between rock dust and biochar, increasing the contents of organic matter, organic carbon, phosphorus, potassium, calcium, sum of bases, CTC, potassium (%), ratio between Ca/K and Mg/K and reduction of aluminum contents on the substrate. Rock dust and biochar have positively influenced the levels of magnesium, Mg (%), Al (%), base saturation and reduced the levels of hydrogen + aluminum. The bean was influenced by the doses of biochar in relation to the shoot length and total dry mass. Thus, it is concluded that both basaltic rock powder and biochar have the potential to be used in the recovery of substrates poor in nutrients.

Keywords: rock powder, soil fertility recovery, soil-plant system.

## 5.1. METODOLOGIA

O experimento foi implantado em casa de vegetação na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Laranjeiras do Sul-PR. O local do experimento possui 807 m de altitude e as coordenadas geográficas são: 25° 26' 42" S e 52° 26' 29" W. Segundo Köppen, o clima da região é classificado como quente e temperado (Cfb). A temperatura média anual em Laranjeiras do Sul é de 17,4 °C com pluviosidade média anual de 1.800 mm. Foram coletadas amostras de solo compostas para a determinação dos atributos químicos do solo utilizado antes da implantação do experimento (Tabela 1), conforme Embrapa (2009).

Tabela 1. Análise química do solo utilizado no experimento. Área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Laranjeiras do Sul – PR.

pH	M.O.	Ca	Mg	K	P	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>
4,90	37,53	4,02	2,42	0,15	2,85	6,41

Fonte: Laboratório de Análises Agronômicas Maravilha LTDA (Pato Branco- PR).

O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO distroférico (EMBRAPA, 2018).

### 5.1.1. Implantação do experimento

O solo utilizado como substrato no experimento em casa de vegetação foi o mesmo utilizado no experimento a campo, ou seja, solo da área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (EMBRAPA, 2018). O experimento foi conduzido em vasos de polietileno com capacidade de 8 L (25 cm de altura e com área de drenagem de aproximadamente 5 cm<sup>2</sup>).

Após a determinação dos atributos químicos do solo (Tabela 1) conforme Embrapa (2009), cada vaso foi preenchido com aproximadamente 7 kg de solo nos quais foram adicionadas doses crescentes de pó de rocha e de biochar. Antes do preenchimento, o solo foi seco ao ar e peneirado em peneira de malha de 5 mm (EMBRAPA, 2009). As doses utilizadas foram baseadas nas recomendações dos fabricantes em t ha<sup>-1</sup> e conforme os resultados de alguns trabalhos de pesquisa (TRAZZI, 2014; PUGA, 2015), sendo: *i*) pó de rocha: a) 0,0 (testemunha) b) 2,5 c) 5,0 e d) 7,5 t ha<sup>-1</sup> e *ii*) biochar: a) 0,0 (testemunha), b) 6,0 c) 12,0 e d) 18,0 t ha<sup>-1</sup> de solo. O pó de rochas basálticas foi extraído e doado pela empresa Ekosolos Ind. Remineralizadora Ltda., da cidade de Paula Freitas-PR (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química do pó de rocha (basalto) oriundo do município de Paula Freitas-PR.

Elementos	Valores	Unidades	Elementos	Valores	Unidades
Al	3,01	%	Mn	535	ppm
B	<10	ppm	Mo	0,84	ppm
Ca	2,19	%	Ni	2,19	ppm
K	0,08	ppm	SiO <sub>2</sub>	0,08	%
Mg	0,57	%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,9	%
P	742	ppm	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,9	%
S	0,19	ppm	CaO	8,45	%
Cu	149,4	ppm	MgO	3,99	%
Zn	62	ppm	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,178	%
Fe	4,87	%	K <sub>2</sub> O	1,29	%
Co	18,1	ppm	MnO	0,16	%

Fonte: SGS Geosol laboratórios LTDA (Vespasiano-MG).

O biocarvão foi produzido pela empresa TecnoCarbo Ltda. na cidade de Guarapuava-PR (Tabela 3).

Tabela 3. Análise química do Biocarvão oriundo do município de Guarapuava/PR.

pH	M.O.	N	Ca	Mg	K	P	S
CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
6,54	0,16	2,30	5,70	1,90	4,00	44,4	23,50

Fonte: Agro Tec Solo Análises Agronômicas e Consultoria (Guarapuava/PR).

No momento do recebimento do biocarvão em pó foram realizadas as análises laboratoriais imediatas na Universidade Federal da Fronteira Sul, conforme a Norma Brasileira Registrada (NBR) 8112 da ABNT (1986) (Tabela 4). A amostra do carvão vegetal foi previamente seca a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  durante 24 horas, até obtenção de massa constante, depois resfriada em dessecador de sílica e pesada com balança analítica de precisão (0,001 g). Em seguida, a amostra foi moída e peneirada a uma granulometria de aproximadamente 0,2 mm. Para a análise imediata foram coletadas amostras simples do carvão vegetal para análises em triplicata.

O teor de matérias voláteis foi determinado pelo aquecimento das amostras a  $900 \pm 10^\circ\text{C}$ , em forno mufla, com as amostras tampadas em cadinhos (Tabela 4). Elas foram inicialmente levadas à porta da mufla por 3 minutos, para aclimação, e ficaram por mais 7 minutos, no interior do equipamento, com a porta fechada. O teor de carbono fixo foi calculado pela soma dos teores de matérias voláteis e cinzas, subtraído de 100. A cinza é o resíduo

composto de óxidos minerais obtidos ao final, após a combustão completa do carvão vegetal (NBR 8.112/1986).

Tabela 4. Teores de umidade, cinzas, matérias voláteis e carbono fixo do biocarvão.

Umidade	Cinzas	Matérias voláteis	Carbono fixo
------(%)-----			
5,88	3,1	9,21	80,5

Fonte: Elaborado pela autora.

As equações utilizadas foram as seguintes:

a) Determinação do Teor de Umidade:

$$TU = \frac{m^0 - m^1}{m^0} 100$$

Em que: TU = Teor de Umidade em %;  $m^0$  = massa inicial da amostra em g;  $m^1$  = massa final da amostra em g.

b) Determinação do Teor de Cinzas:

$$CZ = \frac{m^1 - m^0}{m} 100$$

Em que: CZ = Teor de Cinzas, em %;  $m^0$  = massa do cadinho, em g;  $m^1$  = massa do cadinho + amostra em g; m = massa da amostra em g.

c) Determinação de Materiais Voláteis:

$$MV = \frac{m^2 - m^1}{m} 100$$

Em que: MV = Materiais Voláteis em %;  $m^2$  = massa inicial do cadinho + amostra em g;  $m^1$  = massa final do cadinho + amostra em g; m = massa da amostra em g.

d) Determinação de Carbono Fixo:

$$CF = 100 - (CZ + MV)$$

Em que: CF = teor de carbono fixo em %; CZ = teor de cinza em %; MV = materiais voláteis em %.

Após a incorporação dos fertilizantes foi realizada a rotação de duas culturas de cobertura e uma cultura anual nos vasos, para posteriores análises foliares e de solo, na seguinte ordem: feijão guandu (*Cajanus cajan*), nabo forrageiro (*Raphanus sativum* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). As variedades de nabo forrageiro e feijão guandu foram obtidas junto ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), sendo a variedade de nabo forrageiro denominada como IPR 116 e o feijão guandu denominado IPR 43 Aratã.

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) foi obtido junto a Cooperativa de Produtores de Sementes de Laranjeiras do Sul (Coprossel), no mesmo município. A variedade utilizada foi a IPR Tuiuiú, oriunda da safra 2018/2019. No momento do recebimento das sementes, estas foram submetidas a teste para verificação do teor de umidade e teste padrão de germinação (RAS, 2009).

#### 5.1.2. Delineamento experimental e análise dos dados

Em casa de vegetação foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) sob esquema de arranjo bifatorial de 4 x 4, ou seja, 4 doses de pó de rocha associadas a 4 doses de biocarvão, totalizando 16 tratamentos. Foram utilizadas 4 repetições perfazendo um total de 64 unidades experimentais (vasos). Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p < 0,05$ ), e subsequente análise de regressão ou teste de comparação múltipla de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), conforme o caso. As análises estatísticas foram realizadas com o aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2006).

#### 5.1.3. Variáveis

Através das análises realizadas de acordo com Embrapa (2009), foram consideradas as condições de respostas do sistema solo-planta. No solo foram analisadas as seguintes variáveis: pH ( $\text{CaCl}_2$ ), Matéria Orgânica (M.O.), C orgânico, P-Mehlich 1, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica Total (CTC Total); Saturação por Bases (V%), % Al, % Ca, % Mg, % K, Ca/Mg, Ca/K e Mg/K.

Na cultura do feijoeiro (cultura analisada) foram consideradas as seguintes variáveis: massa seca total, comprimento de parte aérea, comprimento radicular e número de nódulos vaso<sup>-1</sup>.

#### 5.1.4. Análises do solo

O procedimento realizado para as análises de solo sob condições de casa de vegetação seguiu de acordo com Embrapa (2009). Foram realizadas coletas de amostras de solo em apenas um ponto de cada unidade experimental (vaso), utilizando-se de trado a 0,20 m de profundidade. As coletas de amostras de solo foram realizadas no estádio reprodutivo da cultura do feijoeiro (R6), ocasião em que as plantas estavam em pleno florescimento. Após a homogeneização de cada amostra foi feito o destorroamento manual e, em seguida colocadas em estufa de ventilação forçada para secagem a 40° C, até peso constante. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho de martelo e tamisadas em peneira de malha 2 mm e obtendo-se a Terra Fina Seca em Estufa (TSFE). Em seguida as amostras foram acondicionadas em recipientes apropriados e devidamente identificados e seguiram o mesmo procedimento já relatado no capítulo posterior, conforme as análises feitas no experimento a campo.

##### 5.1.4.1. Determinação de pH em CaCl<sub>2</sub>

Para determinação do pH em CaCl<sub>2</sub> foram colocados 10 cm<sup>3</sup> de TFSE em copo plástico, numerado, de 80 ml, de formato troncônico. Em seguida foram adicionados 25 ml de solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>. A mistura foi agitada com bastão individual e deixada em repouso por 15 minutos para molhamento completo da amostra. Em seguida, as amostras foram colocadas em mesa agitadora por 5 minutos a 180 rpm. O pHmetro foi calibrado com as soluções padrão de pH 4,00 e pH 7,00. Após um período de 30 minutos, necessário para o equilíbrio e decantação da suspensão, foi realizada a leitura do pH em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, mergulhando o eletrodo na suspensão homogeneizada, sem nova agitação (EMBRAPA, 2009).

##### 5.1.4.2. Determinação de Matéria Orgânica e Carbono Orgânico

Para determinação analítica, foi utilizado o Espectrofotômetro de Absorção Molecular Lambda 25 (Perkin Elmer). Neste procedimento, cachimbou-se 1 cm<sup>3</sup> de solo de cada amostra e uma prova em branco completa sem solo. Foi adicionado 10 ml da solução de dicromato de sódio (Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) e 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após 2 horas, foi adicionado 50 ml de água sobre cada amostra. Deixou-se descansar por uma noite. No dia seguinte, retirou-se uma alíquota de 10 ml e realizou-se a leitura no espectrofotômetro, no comprimento de onda de 650 nm. Ajustou-se, então, o modelo de regressão linear relacionando à absorbância (y) em resposta ao teor de Carbono Orgânico (CO) em g dm<sup>-3</sup> (x) (EMBRAPA, 2009).

#### 5.1.4.3. Determinação de Fósforo

Para determinação dos teores de fósforo foram colocados 2,5cm<sup>3</sup> de TFSA em frasco de plástico de 125 ml. Em seguida, foram adicionados 25 ml de solução extratora mol L<sup>-1</sup> e agitados durante 5 minutos em agitador horizontal circular (200 rpm). Foram filtrados em papel filtro de porosidade média (quantitativo, lavado com AlCl<sub>3</sub>). Na sequência, 2 ml do extrato foram transferidos para tubo de 50 ml, adicionados a 26 ml da solução de trabalho e misturados bem. Após 15 minutos, foi efetuada leitura da absorbância (A), usando filtro de 880 nm (EMBRAPA, 2009).

#### 5.1.4.4. Determinação de Cálcio

Foram colocados 10 cm<sup>3</sup> de TFSA em erlenmeyer de 125 ml. Adicionados 100 ml de solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Em seguida foi agitado durante 5 minutos em agitador circular. Após, foi deixado descansar durante uma noite. No dia seguinte foi pipetado 25 ml do extrato e passado para erlenmeyer de 125 ml. Na sequência foi adicionado 3 ml de KOH a 100 g L<sup>-1</sup> e uma medida calibrada (+- 30 mg) de ácido ascórbico. Adicionado, em seguida, uma medida calibrada (+- 30 mg) do indicador ácido calcon carbônico + sulfato de sódio. Titulado com solução de EDTA 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. A mudança se deu do vermelho-intenso para o azul-intenso. Verificado o número de mililitros gastos na titulação e anotado na sequência (EMBRAPA, 2009).

#### 5.1.4.5. Determinação de Magnésio

Foi retirado, com pipetador Spondorf, 0,1 ml do extrato límpido e sobrenadante obtido para a dosagem do cálcio, transferido para recipiente plástico, adicionados 2 ml de solução de lantânio a 1%. Em seguida, pipetados 0,1 ml de cada uma das soluções padrão de magnésio, colocados em recipientes plásticos e adicionados 2ml de solução de lantânio a 1%, resultando soluções padrão de leitura a 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8 ppm de magnésio. Preparada a prova em branco utilizando apenas 0,1 ml de KCl 1N e 2 ml de solução de lantânio a 1%. Na sequência, realizada a leitura, em absorbância, da prova em branco, no espectrofotômetro de absorção atômica, zerando o aparelho. Em seguida, as absorbâncias das soluções padrão foram lidas e, finalmente, as das soluções contendo as amostras (EMBRAPA, 2009).

#### 5.1.4.6. Determinação de Potássio

Para determinação de Potássio foram colocados 2,5cm<sup>3</sup> de TFSA em frasco de plástico de 125 ml. Em seguida, foram adicionados 25 ml de solução extratora mol L<sup>-1</sup> e agitados durante 5 minutos em agitador horizontal circular (200 rpm). Foram filtrados em papel filtro de porosidade média (quantitativo, lavado com AlCl<sub>3</sub>). Antes de proceder a leitura da amostra, foi selecionado filtro próprio para potássio. Aferido o fotômetro com água destilada no ponto zero e com a solução padrão de 0,2 mmol de K<sup>+</sup>/L no valor correspondente ao centro da escala. Na sequência foi levado ao fotômetro de chama e efetuada a leitura na escala do aparelho (EMBRAPA, 2009).

#### 5.1.4.7. Determinação de Alumínio

Foram colocados 10 cm<sup>3</sup> de TFSA em erlenmeyer de 125 ml. Adicionados 100 ml de solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Em seguida foi agitado durante 5 minutos em agitador circular. Após, foi deixado descansar durante uma noite. No dia seguinte foi pipetado 25 ml do extrato e passado para erlenmeyer de 125 ml. Na sequência foi adicionado 3 gotas do indicador azul-debromotimol 1 g L<sup>-1</sup>. Após este procedimento, foi titulado com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O ponto de viragem de cada amostra se deu do amarelo para o verde. Foram anotados o número de mililitros gastos na titulação de cada amostra (EMBRAPA, 2009).

#### 5.1.4.8. Determinação de H + Al

Foram colocados 5 cm<sup>3</sup> de TFSA em erlenmeyer de 125 ml. Adicionados 75 ml de solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,1 – 7,2. Em seguida foi arrolhado imediatamente e agitado algumas vezes ao dia. Após, foi deixado descansar durante uma noite. No dia seguinte foi pipetado 25 ml do extrato e passado para o béquer de 100 ml. Na sequência foi titulado com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, usando 3 gotas de fenolftaleína a 10 g L<sup>-1</sup> como indicador. A titulação se completou quando o líquido, antes incolor, apresentou uma cor rósea persistente. Após este procedimento, foi efetuado prova em branco, estabelecendo o ponto de viragem de cada amostra em comparação com a tonalidade do róseo obtida nessa prova. Foram anotados o número de mililitros gastos na titulação da amostra e da prova em branco (EMBRAPA, 2009).

#### 5.1.4.9. Determinação de Soma de Bases

Conforme Embrapa (2009) a soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>.

Portanto:  $SB = (Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (K^+)$ .

#### 5.1.4.10. Determinação da Capacidade de Troca de Cátions

Conforme Embrapa (2009) a capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável.

Portanto:  $CTC\ Total = (Ca^{2+}) + (Mg^{2+}) + (K^+) + (H^+ + (Al^{3+}))$ .

#### 5.1.4.11. Determinação da Saturação por Bases

Conforme Embrapa (2009) denomina-se saturação por bases (V%) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions.

Portanto:  $V\ (\%) = 100 * SB/CTC\ total$

#### 5.1.4.12. Determinação da Saturação por Alumínio

Representa a porcentagem da CTC efetiva (t), em pH 7,0, que está ocupada pelo Alumínio.

Portanto:  $m\% = (Al \times 100) / t$

#### 5.1.4.13. Determinação De Cálcio, Magnésio e Potássio

De acordo com Embrapa (2009) foram calculadas as porcentagens de saturação dos cátions da CTC total a pH 7,0.

Portanto:  $Cátions\ da\ CTC\ potencial = (Teor\ do\ cátion / t) * 100$

Saturação de cálcio:  $\% Ca = (Ca^{2+}/CTC\ total) * 100$

Saturação de magnésio:  $\% Mg = (Mg^{2+}/CTC\ total) * 100$

Saturação de potássio:  $\% K = (K^+/CTC\ total) * 100$

#### 5.1.4.14. Determinação das relações entre Ca/Mg, Ca/K e Mg/K

Neste procedimento, de acordo com Embrapa (2009) foram calculadas as relações entre os cátions básicos da CTC Total.

Portanto:  $Relação\ entre\ Ca\ e\ Mg = (Ca^{2+}/Mg^{2+})$ .

$Relação\ entre\ Ca\ e\ K = (Ca^{2+}/K^+)$ .

$Relação\ entre\ Mg\ e\ K = (Mg^{2+}/K^+)$ .

#### 5.1.5. Análises em feijão

Em casa de vegetação, foram retiradas duas plantas de feijoeiro vaso quando estas encontravam-se em estágio reprodutivo 6 (R6), ou seja, em pleno florescimento (EMBRAPA, 2009). Realizados os procedimentos para determinação do comprimento de parte aérea e raiz, contagem do número de nódulos vaso<sup>-1</sup>, em seguida elas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel Kraft devidamente identificados e submetidas a secagem em estufa de ventilação forçada até a obtenção de peso constante, sob temperatura de 65° C (EMBRAPA, 2009).

##### 5.1.5.1. Massa Seca Total

Para determinação da massa seca total das plantas sob condições de casa de vegetação, foram coletadas 2 plantas de feijoeiro por unidade experimental (vaso). As plantas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel Kraft devidamente identificados, por tratamento e repetição, e em seguida submetidas a secagem em estufa de ventilação até peso constante a 65° C. Após este período, foram retiradas e submetidas a pesagem, obtendo-se a massa seca total de plantas (EMBRAPA, 2009).

##### 5.1.5.2 Comprimento de parte aérea

O comprimento de parte aérea das 2 plantas de feijoeiro coletadas vaso<sup>-1</sup> em casa de vegetação, foram medidas com o auxílio de uma régua, a partir da inserção dos cotilédones até o pico da parte aérea (NAKAGAWA, 1999).

##### 5.1.5.3 Comprimento radicular

Além de as plantas de feijoeiro serem submetidas a medida de comprimento da parte aérea, também foram medidas quanto ao comprimento radicular, com auxílio de paquímetro, da ponta da raiz principal até a inserção dos cotilédones (NAKAGAWA, 1999).

##### 5.1.5.4 Contagem do número de nódulos radiculares por vaso

As amostras de plantas da casa de vegetação passaram pela contagem do número de nódulos vaso<sup>-1</sup>, ou seja, no momento da coleta das plantas de cada vaso, as plantas foram separadas do solo através da lavagem em água corrente sobre peneira de 0,5 mm de malha,

sendo realizada em seguida a contagem do número total de nódulos por raiz de cada planta de feijoeiro (EMBRAPA, 2009).

## 5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.2.1. Solo

Os resultados das análises das amostras de solo submetido às condições de casa de vegetação não apresentaram interações significativas entre os fatores pó de rocha e biocarvão para as variáveis pH (CaCl<sub>2</sub>), H+Al, CTC, V (%), m (%), Ca (%), Mg (%) e relação Ca/Mg. Porém foi possível observar interferências significativas estatisticamente dos fatores quando utilizados de forma isolada, sendo que apenas a variável pH (CaCl<sub>2</sub>) apresentou nenhuma diferença significativa entre os fatores testados e seus níveis (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de Variância dos resultados obtidos a partir das pesquisas realizadas em amostras de solo sob condições de casa de vegetação.

Variáveis	Pó de rocha	Biocarvão	Pó x Biocarvão
pH CaCl <sub>2</sub>	ns	ns	ns
Matéria orgânica	**	ns	**
Carbono orgânico	**	ns	**
P-Mehlich 1	**	*	**
K	**	**	**
Ca	**	**	*
Mg	**	ns	ns
Al	**	**	*
H +Al	**	**	ns
Soma de bases (SB)	**	*	*
CTC Total	**	**	ns
Saturação por bases (V%)	**	**	ns
% Al (m%)	**	**	ns
% Ca	**	**	ns
% Mg	ns	**	ns
% K	**	**	**
Ca/Mg	*	*	ns
Ca/K	**	**	**
Mg/K	**	**	**

\*\*significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

\* significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 < p < 0,05$ ).

ns – não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É provável que as condições controladas de umidade e temperatura tenham impedido a solubilização dos nutrientes componentes, principalmente do remineralizador pó de rocha, prejudicando a combinação dos fatores, ao contrário das condições de campo, onde este processo pode ser mais acelerado.

Os teores de Ca, Mg, K e P foram elevados significativamente de acordo com os resultados obtidos, o que enfatiza a importância dos fatores testados para recuperação da fertilidade natural dos solos. Da mesma forma, Lopes (2013) observou que houve aumento nos

teores de K, Ca e Mg dentre o início do experimento que realizou até o final (90 dias), utilizando-se de pó de rochas basálticas e água destilada, porém, o pH do solo se manteve estável.

### 5.2.2. Matéria Orgânica

A matéria orgânica foi influenciada positivamente pela combinação das doses de biocarvão e pó de rocha (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de Matéria Orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ) do solo submetido a doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Pó de rocha ( $\text{t ha}^{-1}$ )			
	0	2,5	5	7,5
0	37,46 bB	40,72 aA	40,41 aA	40,74 aA
6	38,80 abB	39,42 aAB	40,85 aA	40,81 aA
12	39,34 aA	40,68 aA	40,42 aA	40,82 aA
18	40,42 aA	39,79 aA	40,62 aA	40,14 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar a interação significativa entre as doses de pó de rocha e de biocarvão nos teores de matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ) das amostras de solo submetidas em condições controladas (casa de vegetação). Houve uma tendência de aumento nos teores de matéria orgânica do solo em função do aumento das doses testadas de pó de rocha e biocarvão, sendo, portanto, a combinação das doses  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha com  $18 \text{ t ha}^{-1}$  de biocarvão o destaque entre as demais combinações de doses (Figura 1).

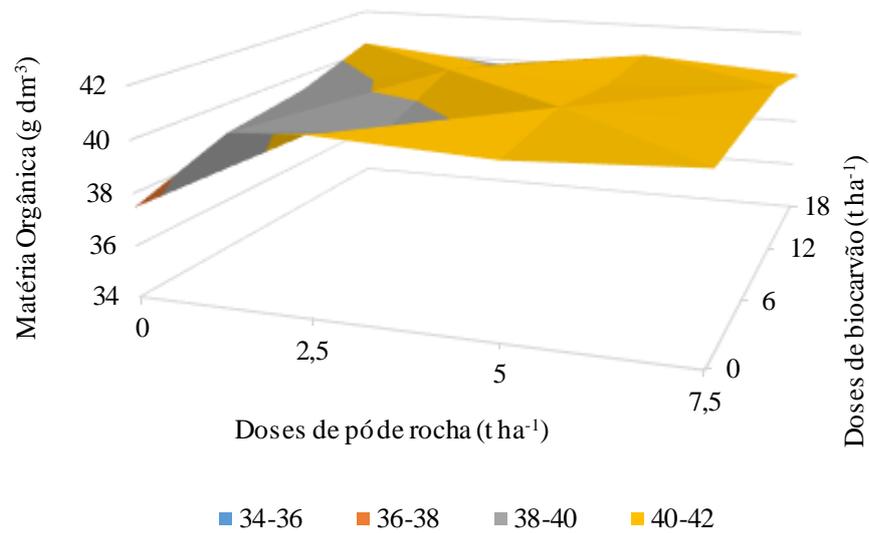


Figura 1. Teor de matéria orgânica (g dm<sup>-3</sup>) no solo sob condições de casa de vegetação com doses de biocarvão e de pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

A promoção da interação entre os fatores envolvidos no manejo agrícola é de fundamental importância, conforme é possível observar através deste resultado, seja com adição de condicionadores de solo, plantas de cobertura ou outras técnicas adequadas, sempre em favorcimento do aumento dos teores de matéria orgânica e manutenção dos organismos benéficos.

Melo (2017) concluiu que houve um incremento de carbono no solo promovido por diferentes biocarvões, em relação ao controle. De acordo com o autor, a associação do biocarvão ao NPK foi capaz de promover efeito sinérgico, apresentando aumentos de 22 a 40% nos teores de carbono orgânico quando comparado aos tratamentos controle e NPK. Observa-se a importância da combinação entre a fração mineral e orgânica no processo de recuperação de solos intemperizados.

Conforme Yang et al. (2017) as frações lábeis do carbono são fundamentais para a manutenção da qualidade do solo e para constatação de mudanças iniciais nas reservas de carbono orgânico, além de indicarem efeitos advindos das diversas práticas de manejo do solo.

### 5.2.3. Carbono orgânico

O carbono orgânico foi influenciado pela interação entre as doses de biocarvão e pó de rocha (Tabela 7).

Tabela 7. Teor de carbono orgânico no solo função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	21,50 bB	23,37 aA	23,20 aA	23,38 aA
6	22,27 abB	22,63 aAB	23,45 aA	23,42 aA
12	22,58 aA	23,35 aA	23,20 aA	23,43 aA
18	23,20 aA	22,84 aA	23,32 aA	23,04 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

O resultado para para a variável carbono orgânico (g dm<sup>-3</sup>) foi semelhante ao obtido na variável matéria orgânica (g dm<sup>-3</sup>). Houve interação significativa entre as doses de pó de rocha e de biocarvão influenciando positivamente nos teores de carbono orgânico das amostras de solo submetidas a condições de casa de vegetação. Ou seja, o aumento das doses de pó de rocha e biocarvão, proporcionou uma tendência de aumento dos teores de C orgânico no solo. Sendo que, portanto, a combinação das doses 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão se destaca entre as demais combinações de doses, para esta variável (Figura 2).

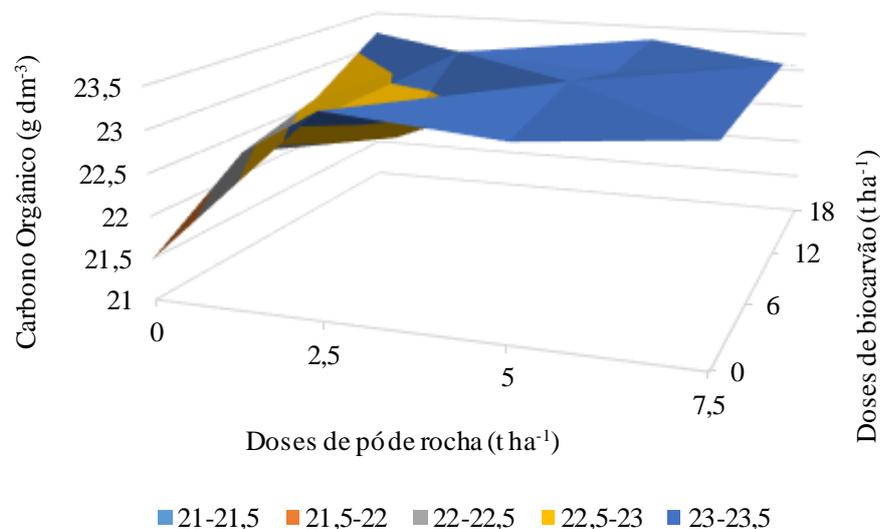


Figura 2. Teor de carbono orgânico no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Ferreira et al. (2018) comprovaram que em LATOSSOLOS cultivados por longo tempo em sistema de plantio direto no Sul do Brasil, os fatores predominantes para recuperação do carbono orgânico do solo são a alta entrada de carbono via rotação de cultura, aliada ao correto manejo da fertilidade do solo. Este manejo da fertilidade também apresenta potencial para utilizar biocarvão combinado com a rochagem, conforme os resultados apresentados no presente trabalho.

#### 5.2.4. Fósforo

O fósforo do solo foi influenciado pela interação entre as doses de biocarvão e pó de rocha (Tabela 8).

Tabela 8. Teor de fósforo no solo função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	2,20 cB	2,99 bAB	3,54 bA	2,80 cAB
6	3,08 bA	3,27 bA	3,85 bA	3,30 cA
12	4,09 aAB	4,77 aA	3,90 bB	4,20 bAB
18	4,87 aA	4,81 aA	4,81 aA	5,43 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Os teores de fósforo (mg dm<sup>-3</sup>) sofreram leve tendência de aumento com o incremento das doses de pó de rocha e biocarvão. Apenas o tratamento composto pela dose de 5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha e 12 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão demonstrou redução significativa estatisticamente. Observa-se tendência de que a combinação das doses 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão se destaca entre as demais combinações de doses, para esta variável (Figura 3).

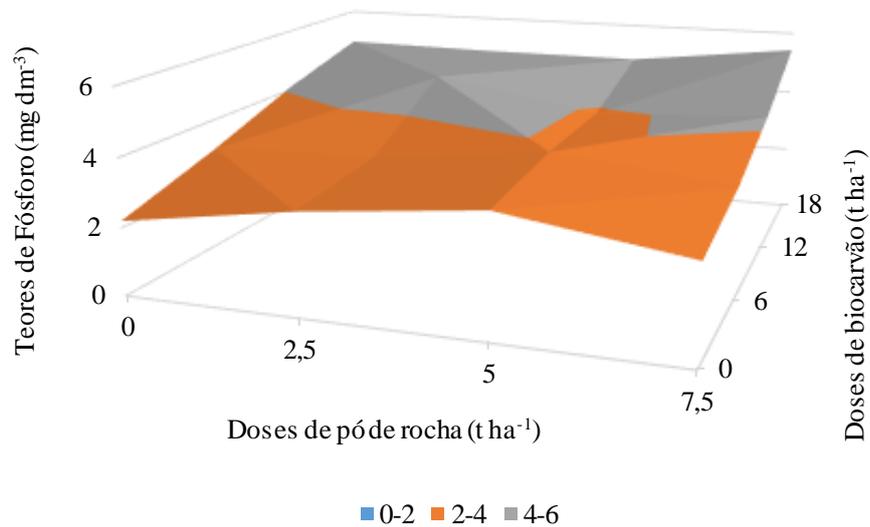


Figura 3. Teor de fósforo no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Fox et al. (2014) afirmam que o biocarvão provoca o aumento da comunidade microbiana, incluindo bactérias benéficas para as plantas, podendo favorecer a solubilização de fontes indisponíveis de fósforo do solo. Neste contexto, a combinação do biocarvão com a rochagem favoreceu a disponibilidade de fósforo no solo.

Este fato representa grandes ganhos para o setor agrícola, haja vista a possibilidade de escassez das reservas de fósforos nas próximas décadas e, sabe-se que não há elementos que possam substituir as funções vitais do fósforo nos organismos vivos, tampouco o seu papel no cenário da segurança alimentar (PANTANO et al., 2016). Os mesmos autores estimam que em meados de 2050 a demanda mundial de fósforo duplique, sendo que alguns estudos apontam que poderá ocorrer um pico na produção de fertilizantes fosfatados nos próximos 30 anos e um esgotamento das reservas mundiais de rochas fosfáticas nos próximos 50-100 anos.

#### 5.2.5. Potássio

Nas Tabela 24 e Figura 22 abaixo estão contidos os valores médios de Potássio ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) em função de doses crescentes de biocarvão (0, 6, 12 e 18  $\text{t ha}^{-1}$ ) e de pó de rocha (0; 2,5; 5 e 7,5  $\text{t ha}^{-1}$ ), em condições de casa de vegetação.

Tabela 9. Teor de potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	0,10 cB	0,23 bcA	0,15 cAB	0,08 cB
6	0,37 bA	0,20 cB	0,21 bcB	0,20 bB
12	0,48 aA	0,31 abB	0,29 bB	0,28 abB
18	0,44 abA	0,40 aAB	0,43 aAB	0,33 aB

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se leve tendência de redução nos teores de potássio conforme o aumento das doses de pó de rocha (Figura 4).

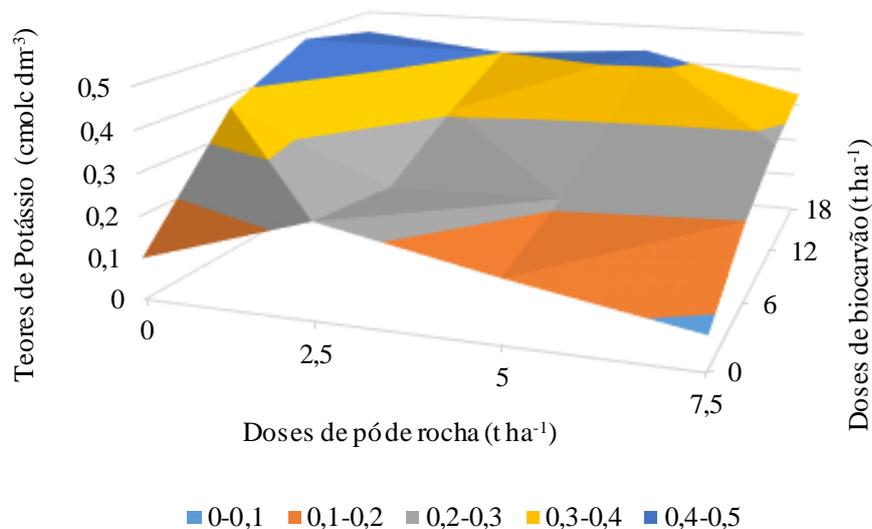


Figura 4. Teor de potássio no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

Liu et al. (2012) relatou que a utilização exclusiva de biocarvão pode não ser suficiente para o fornecimento de quantidades adequadas de nutrientes, mas ao ser incorporado a outros compostos pode promover uma fonte sustentável de nutrientes ao solo. Desta forma, a combinação da rochagem com biocarvão demonstrou potencial de fornecimento de potássio ao solo, o que pode representar ganhos para o setor agrícola e principalmente para os cultivos orgânicos, os quais necessitam substituir os fertilizantes solúveis que são fonte de N, P e K por adubações sustentáveis ao ponto de vista ambiental.

### 5.2.6. Cálcio

O teor de cálcio do solo foi influenciado pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 10).

Tabela 10. Teor de cálcio no solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	3,45 bB	3,47 bB	3,97 aA	3,73 aAB
6	3,61 bA	3,72 abA	3,84 aA	3,82 aA
12	4,00 aA	3,62 bB	3,96 aAB	3,82 aAB
18	3,73 abA	3,81 aA	3,92 aA	4,07 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Ocorreu tendência de aumento nos teores conforme o incremento das doses de biocarvão. Sendo, portanto, a combinação das doses 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão o destaque entre as demais combinações de doses (Figura 5).

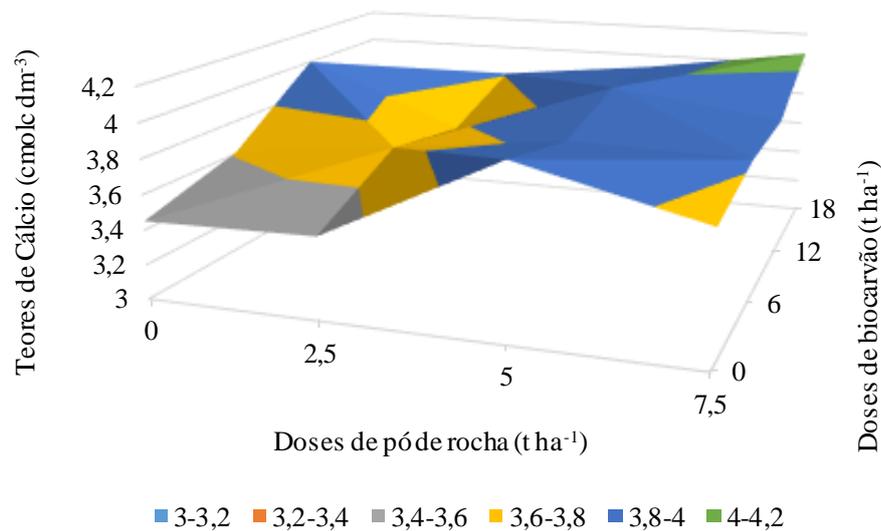


Figura 5. Teor de cálcio presente nas amostras de solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.7. Magnésio

O magnésio do solo foi influenciado pelo pó de rocha (Figura 6).

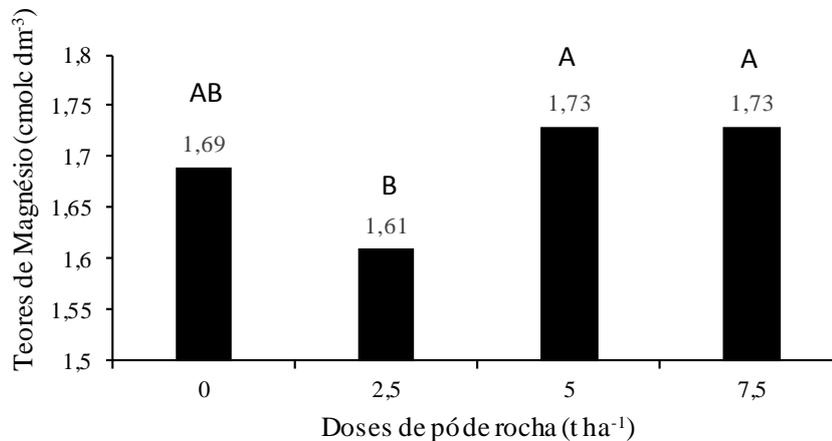


Figura 6. Teor de magnésio no solo em função da dose de pó de rocha.

\* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar que as doses 5 e 7,5 t ha<sup>-1</sup> se destacam em relação às demais, não apresentando diferença entre si e não diferenciando da testemunha. A dose 2,5 t ha<sup>-1</sup> apresentou desempenho inferior a 5 e 7,5 ton ha<sup>-1</sup>, mas não diferiu da testemunha.

### 5.2.8. Alumínio

O teor de alumínio do solo foi influenciado pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 11).

Tabela 11. Teor de alumínio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	0,47 bA	0,45 aA	0,45 aA	0,45 aA
6	0,67 aA	0,40 aB	0,37 aB	0,37 abB
12	0,50 bA	0,37 aAB	0,32 aB	0,35 abAB
18	0,37 bA	0,40 aA	0,30 aA	0,27 bA

\* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar a ocorrência de uma leve tendência de queda nos teores de alumínio com o incremento nas doses dos fatores testados. A dose 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão se destaca em relação as demais combinações de doses, diminuindo significativamente os teores de alumínio no solo sob condições de casa de vegetação (Figura 7).

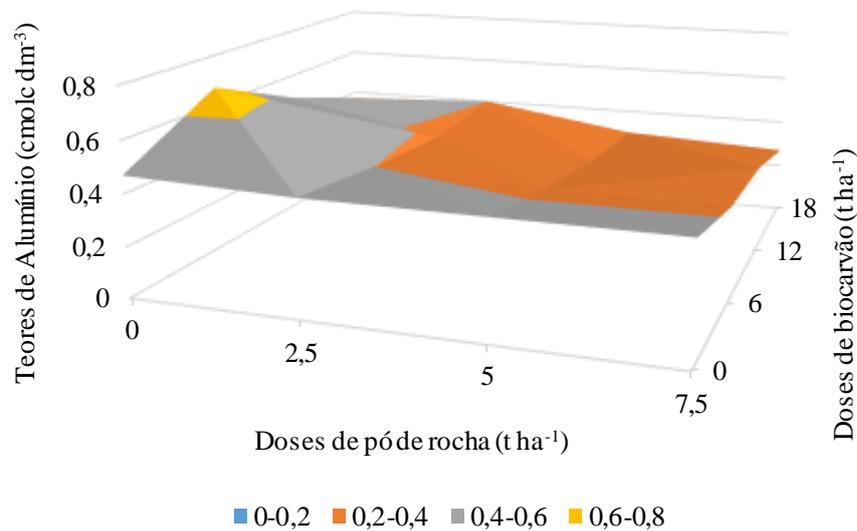


Figura 7. Teor de alumínio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Silveira (2016) também observou que além de elevar a saturação por bases, de forma geral, os insumos oriundos da rochagem aumentaram de forma significativa os valores de pH e fósforo disponível e ainda diminuíram a saturação por alumínio, o que foi observado no presente trabalho.

#### 5.2.9. Hidrogênio + Alumínio

O valor de hidrogênio + alumínio no solo foi influenciado pelas doses de biocarvão (Figura 8 A) e pó de rocha (Figura 8 B), sem interação entre os fatores.

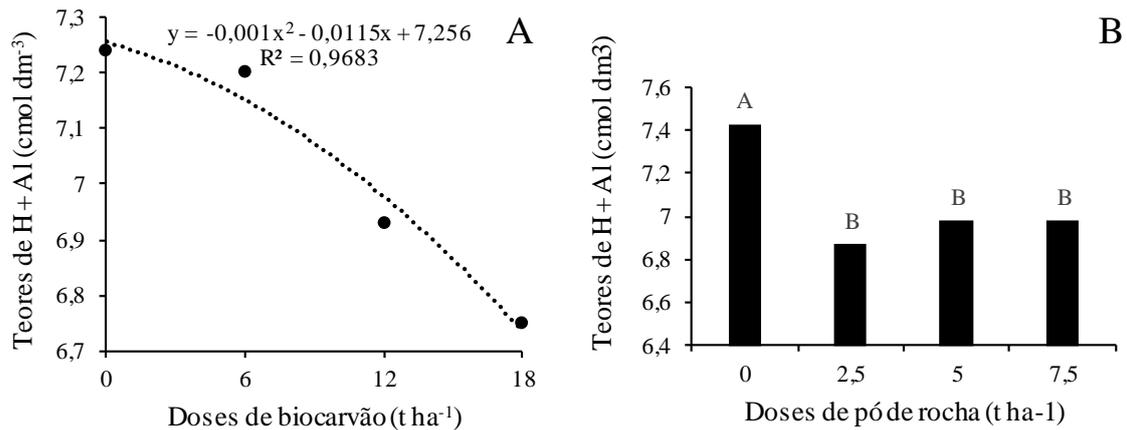


Figura 8. Teor de hidrogênio + alumínio no solo em função de doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B). \*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar que a dose de biocarvão que proporcionou o menor teor de hidrogênio + alumínio nas amostras de solo foi 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão. Além disso, a ausência de pó de rocha resultou no maior de teor de hidrogênio + alumínio do solo, sendo 2,5 ton ha<sup>-1</sup> dose suficiente para atingir o menor valor.

#### 5.2.10. Soma de bases

A soma de bases do solo foi influenciada pela interação entre as doses de biocarvão e pó de rocha (Tabela 12).

Tabela 12. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	5,21 cB	5,25 bB	5,87 aA	5,49 aAB
6	5,70 bA	5,64 abA	5,78 aA	5,76 aA
12	6,21 aA	5,52 bB	6,02 aA	5,84 aAB
18	5,84 abA	6,08 aA	6,06 aA	5,90 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se a partir da figura tendência de aumento nos valores de soma de bases nas doses medianas de pó de rocha combinadas com biocarvão (Figura 9).

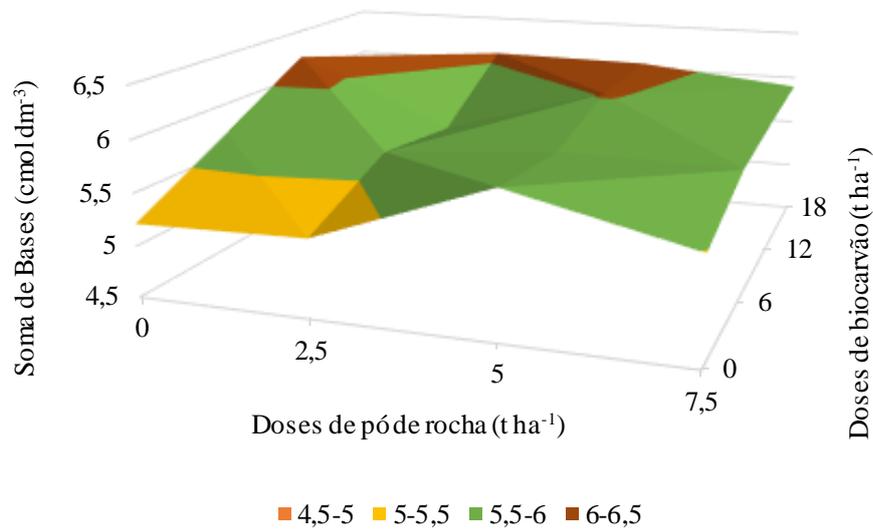


Figura 9. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.2.11. Capacidade de Troca Catiônica

A capacidade de troca de cátions do solo foi influenciada pela interação entre as doses de biocarvão e pó de rocha (Tabela 13).

Tabela 13. Capacidade de troca de cátions do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	12,78 cAB	12,13 bC	13,23 aA	12,66 aBC
6	13,61 aA	12,49 abB	12,81 abB	12,76 aB
12	13,37 abA	12,46 abB	13,07 abA	12,42 aB
18	12,92 bcA	12,89 aA	12,57 bA	12,48 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se tendência de aumento dos valores da capacidade de troca de cátions do solo na dose 0 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 6 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão (Figura 10).

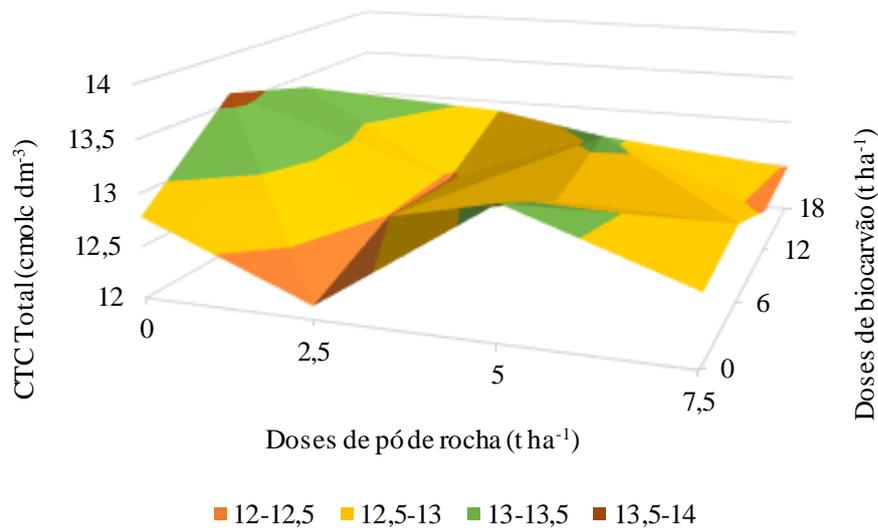


Figura 10. Capacidade de troca de cátions do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.2.12. Saturação por bases

O valor de saturação de bases no solo foi influenciado pelas doses de biocarvão (Figura 11 A) e pó de rocha (Figura 11 B), sem interação entre os fatores.

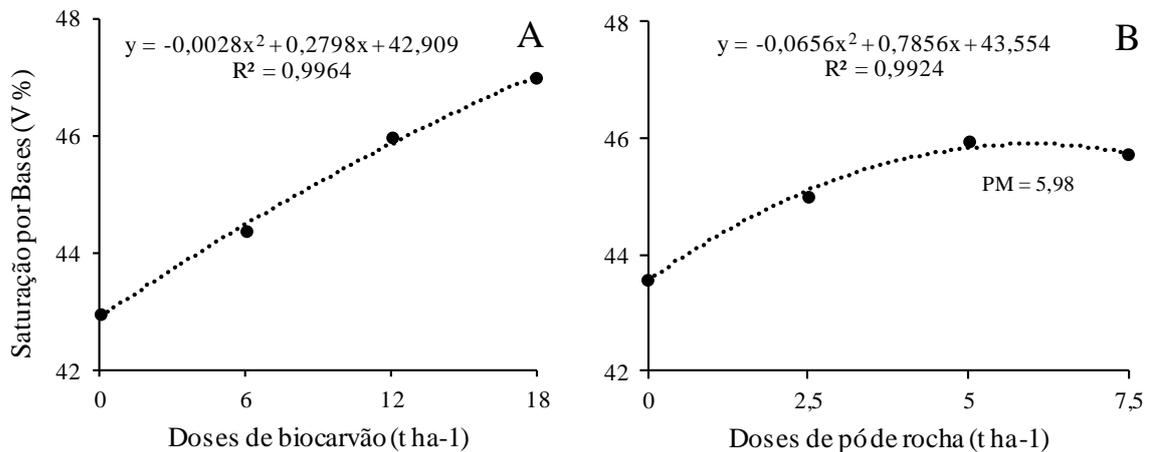


Figura 11. Valores de saturação por bases no solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar que a dose de biocarvão que proporcionou a maior saturação por bases nas amostras de solo submetidas a casa de vegetação foi de 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão. Também foi possível determinar, por transposição do modelo, o ponto de máximo (PM) da

equação ajustada, ou seja, indicar a dose de pó de rocha que proporcionou a maior saturação por bases nas amostras de solo submetidas as condições de casa vegetação. Sendo realizado a partir da derivada de primeira ordem ( $dx/dy$ ) da expressão  $y = -0,0656x^2 + 0,7856x + 43,554$ . Desta forma, foi possível observar que o PM foi  $5,98 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha.

### 5.2.13. Porcentagem de Alumínio na CTC

O valor de porcentagem de alumínio na CTC do solo foi influenciado pelas doses de biocarvão (Figura 12 A) e pó de rocha (Figura 12 B), sem interação entre os fatores.

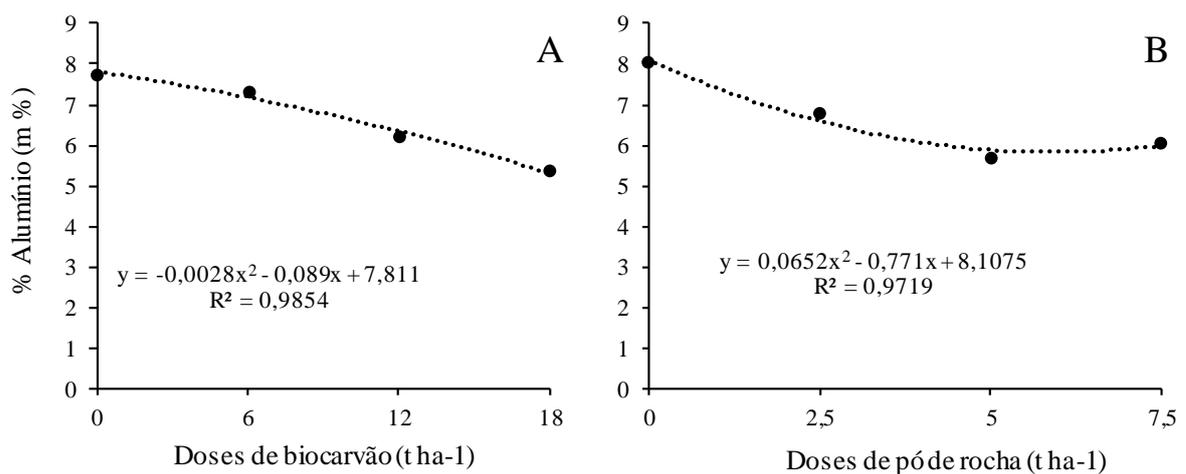


Figura 12. Valores de porcentagem de alumínio na CTC do solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar que a dose de biocarvão que proporcionou o menor teor de alumínio (m%) nas amostras de solo submetidas a casa de vegetação foi  $18 \text{ t ha}^{-1}$  de biocarvão. O ponto de mínimo (PM) da equação ajustada, indica a dose de pó de rocha que proporcionou redução da porcentagem de alumínio (m%) na CTC efetiva das amostras de solo sob condições de casa de vegetação, sendo realizado a partir da derivada de primeira ordem ( $dx/dy$ ) da expressão  $y = -0,0652x^2 + 0,771x + 8,1075$ . Desta forma, o PM foi de  $5,91 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha.

### 5.2.14. Porcentagem de Cálcio na CTC

O valor de porcentagem de cálcio na CTC do solo foi influenciado pelas doses de biocarvão (Figura 13 A) e pó de rocha (Figura 13 B), sem interação entre os fatores.

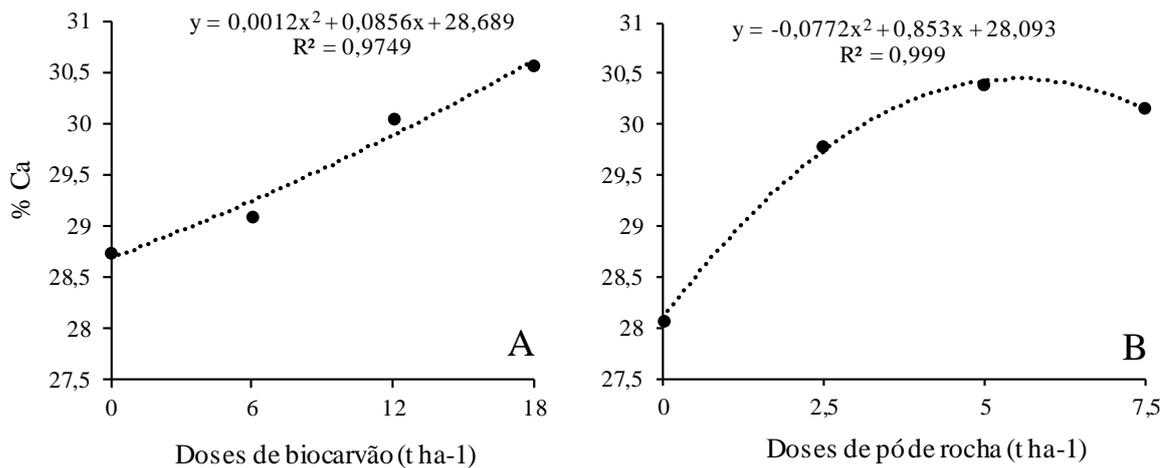


Figura 13. Valores de porcentagem de cálcio na CTC do solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto maior a quantidade de biocarvão adicionado ao solo, maiores foram os teores de cálcio no solo. Houve ponto de máximo (PM) para a dose de pó de rocha, que proporcionou maior influência da % Ca na CTC do solo, sendo realizado a partir da derivada de primeira ordem ( $dx/dy$ ) do modelo  $y = -0,0772x^2 + 0,853x + 28,093$ . O PM de pó de rocha sobre a % de cálcio na CTC foi de 5,52 t ha<sup>-1</sup>.

#### 5.2.15. Porcentagem de Magnésio na CTC

O valor de porcentagem de magnésio na CTC do solo foi influenciado pelas doses de pó de rocha (Figura 14).

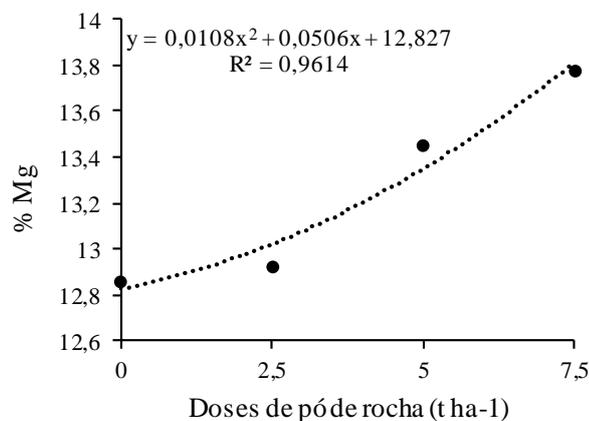


Figura 14. Valores de porcentagem de magnésio na CTC do solo submetido a doses de e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

Houve aumento da % Mg na CTC do solo com o aumento nas doses de pó de rocha. Esse resultado reforça a participação do Mg no material de origem do pó de rocha, permitindo enriquecer o solo e conseqüentemente aumentar sua participação na CTC.

#### 5.2.16. Porcentagem de potássio na CTC

A porcentagem de potássio na CTC do solo foi influenciada pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 14).

Tabela 14. Porcentagem de potássio na CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	0,77 cB	1,90 bcA	1,15 cAB	0,62 cB
6	2,75 bA	1,60 cB	1,60 bcB	1,60 bB
12	3,65 aA	2,52 abB	2,27 bB	2,30 abB
18	3,40 abA	3,12 aA	3,42 aA	2,70 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Fonte: Elaborado pela autora.

Houve tendência de aumento na porcentagem de potássio da CTC do solo com o aumento das doses, com destaque para o uso da dose 5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão (Figura 15).

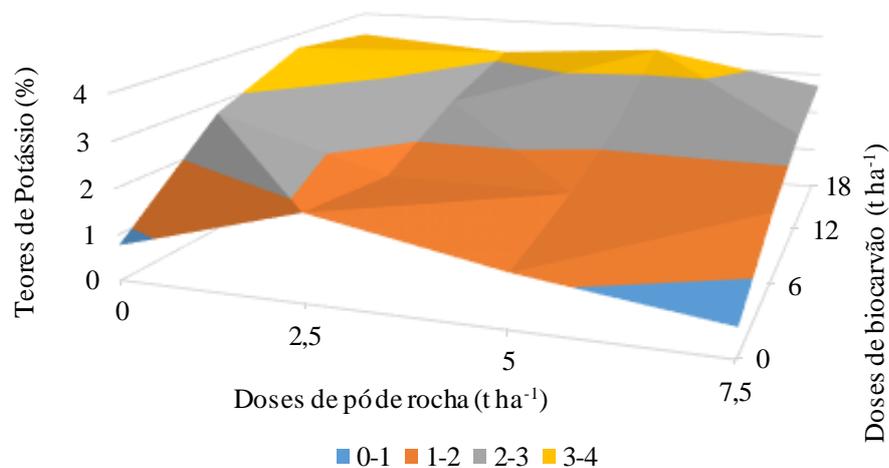


Figura 15. Porcentagem de potássio na CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.17. Relação entre cálcio e magnésio

A relação entre cálcio e magnésio no solo foi influenciado pelas doses de biocarvão (Figura 16 A) e pó de rocha (Figura 16 B), sem interação entre os fatores.

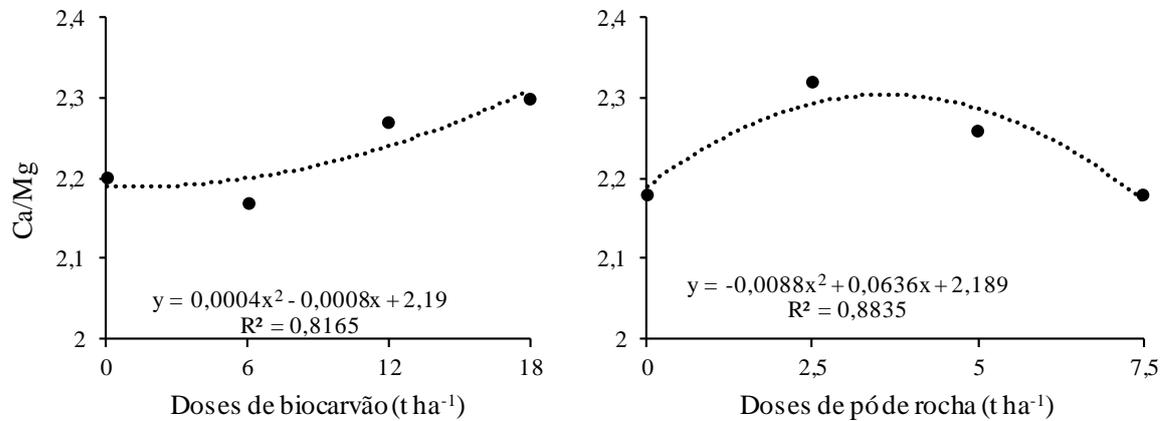


Figura 16. Relação entre cálcio e magnésio no solo submetido a doses de biocarvão (A) e pó de rocha (B).

Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto maior a quantidade de biocarvão adicionado ao solo, maior foi a relação entre cálcio e magnésio. O ponto de máximo (PM) da dose de pó de rocha, que proporcionou maior relação Ca/Mg de solo foi obtido com a derivada de primeira ordem ( $dx/dy$ ) da expressão  $y = -0,0088x^2 + 0,0636x + 2,189$ . Desta forma, foi possível observar que o PM foi de 3,61 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha.

### 5.2.18. Relação entre cálcio e potássio

A relação entre cálcio e potássio no solo foi influenciada pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 15).

Tabela 15. Relação entre cálcio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	34,72 aB	15,30 abD	27,00 aC	46,80 aA
6	9,90 bB	19,82 aA	19,20 bA	19,20 bA
12	8,45 bB	11,62 bAB	14,10 bcA	13,65 bcAB
18	8,45 bA	10,37 bA	9,32 cA	11,52 cA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se a elevação da relação entre cálcio e potássio do solo quando se utilizou a dose 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 0 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão (Figura 16).

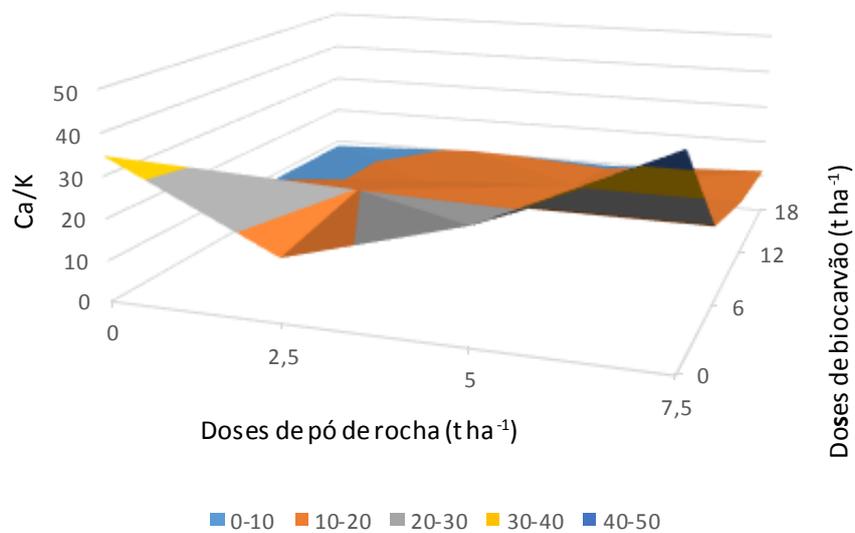


Figura 17. Relação entre cálcio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.2.19. Relação entre magnésio e potássio

A relação entre magnésio e potássio no solo foi influenciada pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 16).

Tabela 16. Relação entre magnésio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	17,07 aB	6,72 abD	11,95 aC	21,17 aA
6	4,67 bB	9,22 aA	8,62 bA	8,77 bA
12	3,67 bA	5,12 bA	6,30 bcA	6,25 bcA
18	3,82 bA	4,12 bA	4,10 cA	5,32 cA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Observou-se os maiores valores na relação entre magnésio e potássio com 7,5 ton ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinado a 0 ton ha<sup>-1</sup> de biocarvão.

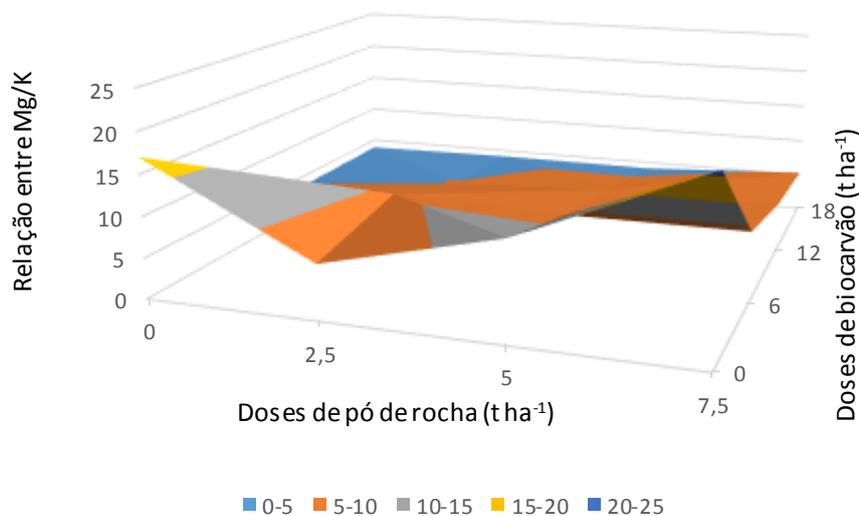


Figura 18. Relação entre magnésio e potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3. FEIJÃO

As variáveis comprimento radicular e número de nódulos vaso na cultura do feijoeiro não foram influenciados pelos tratamentos testados, mas a massa seca total das plantas e o comprimento de parte aérea foram influenciados pelas doses de biocarvão (tabela 17).

Tabela 17. Resultados da análise de variância para as variáveis do feijão.

Variáveis	Pó de rocha	Biocarvão	Pó x Biocarvão
Massa seca total	ns	*	ns
Comprimento parte aérea	ns	*	ns
Comprimento radicular	ns	ns	ns
Nº de nódulos vaso <sup>-1</sup>	ns	ns	ns

\*\*significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

ns – não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3.1. Comprimento de parte aérea

O comprimento de parte aérea do feijão foi influenciado pelas doses de biocarvão. A partir da equação quadrática ajustada foi possível determinar o ponto de máximo (PM), ou seja, determinar a dose de biocarvão que proporcionou o maior comprimento de parte aérea nas plantas de feijoeiro. O PM pode ser obtido através da derivada de primeira ordem ( $dx/dy$ ) da expressão  $y = -0,0515x^2 + 1,4341x + 21,052$ . Desta forma, foi possível observar que o PM foi atingido com  $13,91 \text{ t ha}^{-1}$  de biocarvão (Figura 19).

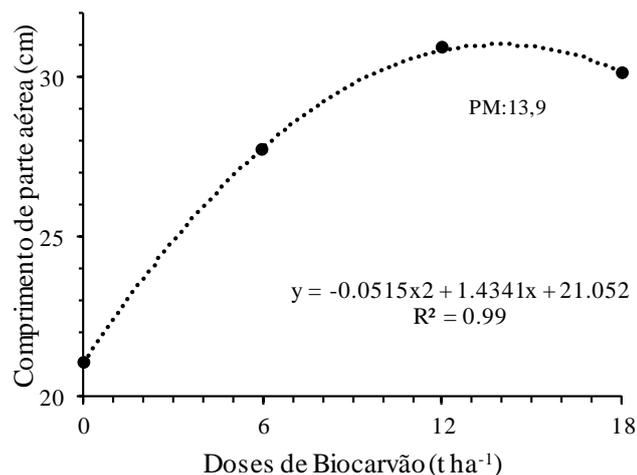


Figura 19. Comprimento de parte aérea do feijão em pleno florescimento (R6) em função de doses de biocarvão.

Fonte: Elaborado pela autora.

As pesquisas realizadas no presente trabalho em plantas de feijoeiro cultivado sob condições de casa de vegetação, demonstraram efeito significativo do biocarvão de coco babaçu no comprimento de parte aérea. Da mesma forma Shulz et al. (2013) utilizando 6 tipos de biocarvões compostados no crescimento de aveia (*Avena sativa* L.) observaram médias

superiores na biomassa aérea com incrementos na altura e no peso em relação ao tratamento controle.

A melhoria do desenvolvimento vegetal proporcionado pelo biocarvão é maior quando o produto é combinado com solo fértil ou com adição de fertilizantes (PETTER et al., 2012; LIMA et al., 2015), apesar disto, os tratamentos que se utilizaram de pó de rocha basáltica não apresentaram resultados expressivos sob condições de casa de vegetação neste trabalho. Conforme já relatado, acredita-se que as condições controladas de umidade e temperatura tenham impedido a solubilização do remineralizador, ao contrário das condições de campo, onde este processo pode ser mais acelerado.

### 5.3.2. Massa seca total

A massa seca total de plantas de feijoeiro também foi influenciada pelas doses de biocarvão, que foi ajustada a um modelo quadrático (Figura 20).

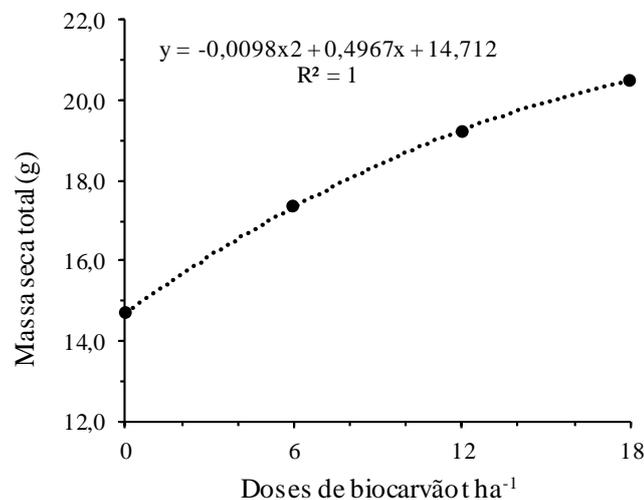


Figura 20. Massa seca total do feijão em pleno florescimento (R6) em função de doses de biocarvão.

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se aumento na massa seca total do feijão com o aumento na dose de biocarvão, atingindo o valor máximo de 20,48 g com 18 ton ha<sup>-1</sup>, a maior dose de biocarvão avaliada.

Da mesma forma Silva et al. (2017) ao avaliarem os efeitos do biocarvão de casca de arroz, serragem e restos de silagem de sorgo sobre *Phaseolus vulgaris* L. descreveram que o biocarvão nas concentrações 2,5%, 5% e 7,5% aumentou a massa seca da parte aérea, massa seca radicular e a massa seca total.

#### 5.4. CONCLUSÃO

A interação entre pó de rocha e biocarvão no experimento elevou significativamente os teores de Matéria Orgânica, Carbono Orgânico, Fósforo, Potássio, Cálcio, Soma de Bases, CTC, Potássio (%), relação entre Ca/K e Mg/K.

A mesma interação entre pó de rocha e biocarvão reduziu os teores de Alumínio no solo.

Pó de rocha e Biocarvão de forma isolada influenciaram positivamente os teores de Magnésio, Mg (%), Al (%), Saturação por Bases (V%) e reduziram teores de Hidrogênio + Alumínio.

Em plantas de feijoeiro os efeitos de biocarvão foram significativos para comprimento de parte aérea e massa seca total das plantas.

## 6. EXPERIMENTO DE CAMPO

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar alternativas de fertilização do solo para culturas anuais em sistemas de produção orgânica. Foi realizado experimento a campo com Delineamento em Blocos Casualizados em arranjo bifatorial com 4 doses de pó de rocha e 4 doses de biocarvão com 4 repetições. Após a implantação dos tratamentos foi adotado sistema de sucessão de culturas na seguinte ordem: *Raphanus sativum*, *Cajanus cajan* e *Phaseolus vulgaris*. No solo foram analisadas as variáveis: pH (CaCl<sub>2</sub>), Matéria Orgânica, P-Mehlich 1, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Soma de Bases, Capacidade de Troca Catiônica Total; Saturação por Bases, % Al, % Ca, % Mg, % K, Ca/Mg, Ca/K e Mg/K. Na cultura do feijoeiro foram mensuradas: massa seca total, comprimento de parte aérea, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e rendimento de grãos. Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p < 0,05$ ), e subsequente análise de regressão ou teste de comparação múltipla de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), conforme o caso. A interação entre pó de rocha e biocarvão elevou significativamente o pH (CaCl<sub>2</sub>), teores de P, K, Ca, Soma de Bases, CTC, K (%), relação entre Ca/K e Mg/K. A mesma interação entre pó de rocha e biocarvão reduziu os teores de Al, H + Al e Al% do solo. Pó de rocha de forma isolada influenciou positivamente os teores de matéria orgânica, carbono orgânico e a relação entre Ca/Mg. O comprimento da parte aérea do feijão foi influenciado pela interação entre pó de rocha e biocarvão, enquanto a massa seca total do feijão foi influenciada tanto pelo pó de rocha quanto pelo biocarvão, mas sem interação entre os fatores. Com isso, conclui-se que tanto pó de rocha basáltica quanto o biocarvão apresentam potencial para serem utilizados na recuperação de solos pobres em nutrientes com a finalidade de cultivo de feijão. Hipotiza-se, ainda, que esse efeito benéfico dos condicionadores de solo aumente com o passar do tempo em função dos efeitos adicionais que eles apresentam no solo a longo prazo.

Palavras-chave: rochagem, recuperação da fertilidade de solos, sistema solo-planta.

### ABSTRACT

The objective of the present work was to evaluate alternatives to recover the fertility of an Oxisol in an organic bean cultivation system. A field experiment was carried out with a Randomized Block Design in a bifactorial arrangement with 4 doses of rock dust and 4 doses of biochar with 4 repetitions. After the implementation of the treatments, a system of crop succession was adopted in the following order: *Raphanus sativum*, *Cajanus cajan* and *Phaseolus vulgaris*. In the soil, the variables were analyzed: pH (CaCl<sub>2</sub>), Organic Matter, P-Mehlich 1, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Sum of Bases, Total Cationic Exchange Capacity; Base Saturation, % Al, % Ca, % Mg, % K, Ca/Mg, Ca/K and Mg/K. In common bean, total dry mass, shoot length, number of pods per plant, number of beans per pods and grain yield were measured. The data were subjected to analysis of variance ( $p < 0.05$ ), and subsequent regression analysis or multiple comparison test of Tukey's means ( $p < 0.05$ ), as appropriate. The interaction between rock dust and biochar significantly increased the pH (CaCl<sub>2</sub>), contents of P, K, Ca, Sum of Bases, CTC, K (%), ratio between Ca/K and Mg/K. The same interaction between rock dust and biochar reduced the levels of Al, H+Al and Al% of the soil. Rock powder in an isolated way positively influenced the contents of organic matter, organic carbon and the Ca/Mg ratio. The length of the aerial part of the bean was influenced by the interaction between rock dust and biochar, while the total dry mass of the bean was influenced by both rock dust and biochar, but without interaction between the factors. Thus, it is concluded that both basaltic rock dust

and biochar have the potential to be used in the recovery of nutrient-poor soils for the purpose of bean cultivation. It is also hypothesis that this beneficial effect of soil conditioners increases over time due to the additional effects they have on the soil in the long run.

Keywords: rock powder, soil fertility recovery, soil-plant system.

## 6.1. METODOLOGIA

O experimento foi implantado a campo, na área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus Laranjeiras do Sul-PR. O local do experimento possui 777 m de altitude e as coordenadas geográficas são: 25° 26' 51" S e 52° 27' 12" W.

### 6.1.1. Implantação do experimento em campo

Quatro doses de pó de rocha combinadas com quatro doses de biocarvão foram distribuídas uniformemente sobre o solo nas respectivas parcelas e posteriormente foram incorporadas. As doses utilizadas em  $t\ ha^{-1}$  foram baseadas nas recomendações dos fabricantes e conforme os resultados de alguns trabalhos de pesquisa (TRAZZI, 2014; PUGA, 2015). As doses utilizadas de pó de rocha foram: 0 (testemunha); 2,5; 5, e; 7,5  $t\ ha^{-1}$ . Já as doses de biocarvão foram: 0 (testemunha); 6; 12, e; 18  $t\ ha^{-1}$ .

Cada parcela (unidade experimental) foi delimitada com 5 m de comprimento e 3,5 m de largura, totalizando área total de 17,5  $m^2$  e área útil de 10  $m^2$ . Os tratamentos foram sorteados de forma aleatória nos blocos. O biocarvão foi distribuído a lanço nas parcelas e, em seguida o pó de rocha, sendo que para a incorporação (aproximadamente 15 cm de profundidade) utilizou-se grade niveladora.

Após este procedimento foi conduzida a sucessão de duas culturas de cobertura com efeito conhecido na solubilização de nutrientes. Na sequência, houve a semeadura de feijão (*Phaseolus vulgaris*). A ordem dos cultivos foi a seguinte: feijão guandu (*Cajanus cajan*), nabo forrageiro (*Raphanus sativum*) e feijão. As variedades de nabo forrageiro e feijão guandu foram obtidas junto ao Instituto Agrônômico do Paraná (IAPAR), sendo o nabo forrageiro IPR 116 e o feijão guandu IPR 43 Aratã. O feijão IPR Tuiuiú foi obtido junto a Cooperativa de Produtores de Sementes de Laranjeiras do Sul (Coprossel).

Todas as sementes utilizadas no experimento foram submetidas a teste para verificação do teor de umidade e teste padrão de germinação (RAS, 2009). Os resultados destes testes foram utilizados para ajustar a semeadura das culturas, observando-se a população e o espaçamento recomendados pelo Instituto Agrônômico do Paraná.

### 6.1.2. Delineamento experimental

Foi utilizado o Delineamento em Blocos Casualizados (DBC) sob esquema de arranjo bifatorial com quatro doses de pó de rocha combinadas a quatro doses de biocarvão, totalizando 16 tratamentos. Foram utilizadas 4 repetições perfazendo um total de 64 unidades experimentais. Os dados foram submetidos a análise de variância ( $p < 0,05$ ), e subsequente análise de regressão ou teste de comparação múltipla de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ), conforme o caso. As análises estatísticas foram realizadas com o aplicativo computacional Genes (CRUZ, 2006).

Foram consideradas as condições de respostas do sistema solo-planta. No solo foram analisadas as seguintes variáveis: pH ( $\text{CaCl}_2$ ), Matéria Orgânica, P-Mehlich 1, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Soma de Bases, Capacidade de Troca Catiônica Total; Saturação por Bases, % Al, % Ca, % Mg, % K, Ca/Mg, Ca/K e Mg/K.

Na cultura do feijoeiro (cultura analisada) foram consideradas as seguintes variáveis a campo: massa seca total; comprimento de parte aérea; número de vagens planta<sup>-1</sup>; número de grãos vagens<sup>-1</sup> e produtividade de grãos.

### 6.1.3. Análise de solo

O procedimento realizado para as análises de solo sob condições de campo seguiu o protocolo da Embrapa (2009). Foram realizadas coletas de amostras de solo em dois pontos de cada parcela do experimento, utilizando trado a 0,20 m de profundidade. As coletas de amostras de solo foram realizadas no estágio reprodutivo da cultura do feijoeiro (R6), ocasião em que as plantas estavam em pleno florescimento. Após a homogeneização de cada amostra foi feito destorroamento manual e, em seguida colocadas em estufa de ventilação forçada para secagem a 40° C até peso constante. Após a secagem, as amostras foram moídas em moinho de martelo e tamisadas em peneira de malha 2 mm e obtendo-se a Terra Fina Seca em Estufa (TSFE). Em seguida as amostras foram acondicionadas em recipientes apropriados e devidamente identificados.

#### 6.1.3.1. Determinação de pH em $\text{CaCl}_2$

Para determinação do pH em  $\text{CaCl}_2$  foram colocados 10 cm<sup>3</sup> de TFSE em copo plástico, numerado, de 80 ml, de formato troncônico. Em seguida foram adicionados 25 ml de solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup>. A mistura foi agitada com bastão individual e deixada em repouso por 15 minutos para molhamento completo da amostra. Em seguida, as amostras foram colocadas

em mesa agitadora por 5 minutos a 180 rpm. O pHmetro foi calibrado com as soluções padrão de pH 4,00 e pH 7,00. Após um período de 30 minutos, necessário para o equilíbrio e decantação da suspensão, foi realizada a leitura do pH em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , mergulhando o eletrodo na suspensão homogeneizada, sem nova agitação (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.2. Determinação de Matéria Orgânica e Carbono Orgânico

Para determinação analítica, foi utilizado o Espectrofotômetro de Absorção Molecular Lambda 25 (Perkin Elmer). Neste procedimento, cachimbou-se  $1 \text{ cm}^3$  de solo de cada amostra e uma prova em branco completa sem solo. Foi adicionado 10 ml da solução de dicromato de sódio ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) e 10 ml de ácido sulfúrico concentrado. Após 2 horas, foi adicionado 50 ml de água sobre cada amostra. Deixou-se descansar por uma noite. No dia seguinte, retirou-se uma alíquota de 10 ml e realizou-se a leitura no espectrofotômetro, no comprimento de onda de 650 nm. Ajustou-se, então, o modelo de regressão linear relacionando à absorbância (y) em resposta ao teor de Carbono Orgânico (CO) em  $\text{g dm}^{-3}$  (x) (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.3. Determinação de Fósforo

Para determinação dos teores de fósforo foram colocados  $2,5 \text{ cm}^3$  de TFSA em frasco de plástico de 125 ml. Em seguida, foram adicionados 25 ml de solução extratora  $\text{mol L}^{-1}$  e agitados durante 5 minutos em agitador horizontal circular (200 rpm). Foram filtrados em papel filtro de porosidade média (quantitativo, lavado com  $\text{AlCl}_3$ ). Na sequência, 2 ml do extrato foram transferidos para tubo de 50 ml, adicionados a 26 ml da solução de trabalho e homogeneizados bem. Após 15 minutos, foi efetuada leitura da absorbância (A), usando filtro de 880 nm (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.4. Determinação de Cálcio

Foram colocados  $10 \text{ cm}^3$  de TFSA em erlenmeyer de 125 ml. Adicionados 100 ml de solução de KCl  $1 \text{ mol L}^{-1}$ . Em seguida foi agitado durante 5 minutos em agitador circular. Após, foi deixado descansar durante uma noite. No dia seguinte foi pipetado 25 ml do extrato e passado para erlenmeyer de 125 ml. Na sequência foi adicionado 3 ml de KOH a  $100 \text{ g L}^{-1}$  e uma medida calibrada (+- 30 mg) de ácido ascórbico. Adicionado, em seguida, uma medida calibrada (+- 30 mg) do indicador ácido calcon carbônico + sulfato de sódio. Titulado com solução de EDTA  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ . A mudança se deu do vermelho-intenso para o azul-intenso.

Verificado o número de mililitros gastos na titulação e anotado na sequência (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.5. Determinação de Magnésio

Foi retirado, com pipetador Spondorf, 0,1 ml do extrato límpido e sobrenadante obtido para a dosagem do cálcio, transferido para recipiente plástico, adicionados 2 ml de solução de lantânio a 1%. Em seguida, pipetados 0,1 ml de cada uma das soluções padrão de magnésio, colocados em recipientes plásticos e adicionados 2ml de solução de lantânio a 1%, resultando soluções padrão de leitura a 0,1; 0,2; 0,4 e 0,8 ppm de magnésio. Preparada a prova em branco utilizando apenas 0,1 ml de KCl 1N e 2 ml de solução de lantânio a 1%. Na sequência, realizada a leitura, em absorbância, da prova em branco, no espectrofotômetro de absorção atômica, zerando o aparelho. Em seguida, as absorbâncias das soluções padrão foram lidas e, finalmente, as das soluções contendo as amostras (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.6. Determinação de Potássio

Para determinação de Potássio foram colocados 2,5cm<sup>3</sup> de TFSA em frasco de plástico de 125 ml. Em seguida, foram adicionados 25 ml de solução extratora mol L<sup>-1</sup> e agitados durante 5 minutos em agitador horizontal circular (200 rpm). Foram filtrados em papel filtro de porosidade média (quantitativo, lavado com AlCl<sub>3</sub>). Antes de proceder a leitura da amostra, foi selecionado filtro próprio para potássio. Aferido o fotômetro com água destilada no ponto zero e com a solução padrão de 0,2 mmol de K<sup>+</sup>/L no valor correspondente ao centro da escala. Na sequência foi levado ao fotômetro de chama e efetuada a leitura na escala do aparelho (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.7. Determinação de Alumínio

Foram colocados 10 cm<sup>3</sup> de TFSA em erlenmeyer de 125 ml. Adicionados 100 ml de solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Em seguida foi agitado durante 5 minutos em agitador circular. Após, foi deixado descansar durante uma noite. No dia seguinte foi pipetado 25 ml do extrato e passado para erlenmeyer de 125 ml. Na sequência foi adicionado 3 gotas do indicador azul-de-bromotimol 1 g L<sup>-1</sup>. Após este procedimento, foi titulado com solução NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>. O ponto de viragem de cada amostra se deu do amarelo para o verde. Foram anotados o número de mililitros gastos na titulação de cada amostra (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.8. Determinação de H + Al

Foram colocados 5 cm<sup>3</sup> de TFSA em erlenmeyer de 125 ml. Adicionados 75 ml de solução de acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,1 – 7,2. Em seguida foi arrolhado imediatamente e agitado algumas vezes ao dia. Após, foi deixado descansar durante uma noite. No dia seguinte foi pipetado 25 ml do extrato e passado para o béquer de 100 ml. Na sequência foi titulado com solução de NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>, usando 3 gotas de fenolftaleína a 10 g L<sup>-1</sup> como indicador. A titulação se completou quando o líquido, antes incolor, apresentou uma cor rósea persistente. Após este procedimento, foi efetuado prova em branco, estabelecendo o ponto de viragem de cada amostra em comparação com a tonalidade do róseo obtida nessa prova. Foram anotados o número de mililitros gastos na titulação da amostra e da prova em branco (EMBRAPA, 2009).

#### 6.1.3.9. Determinação de Soma de Bases

Conforme Embrapa (2009) a soma de bases trocáveis (SB) de um solo, argila ou húmus representa a soma dos teores de cátions permutáveis, exceto H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup>.

$$\text{Portanto: SB} = (\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+}) + (\text{K}^+).$$

#### 6.1.3.10. Determinação da Capacidade de Troca de Cátions

Conforme Embrapa (2009) a capacidade de troca de cátions (CTC) de um solo, de uma argila ou do húmus representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável.

$$\text{Portanto: CTC Total} = (\text{Ca}^{2+}) + (\text{Mg}^{2+}) + (\text{K}^+) + (\text{H}^+ + (\text{Al}^{3+})).$$

#### 6.1.3.11. Determinação da Saturação por Bases

Conforme Embrapa (2009) denomina-se saturação por bases (V%) a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions.

$$\text{Portanto: V (\%)} = 100 * \text{SB/CTC total}$$

#### 6.1.3.12. Determinação da Saturação por Alumínio

Representa a porcentagem da CTC efetiva (t), em pH 7,0, que está ocupada pelo Alumínio.

$$\text{Portanto: m\%} = (\text{Al} \times 100) / t$$

#### 6.1.3.13. Determinação De Cálcio, Magnésio e Potássio

De acordo com Embrapa (2009) foram calculadas as porcentagens de saturação dos cátions da CTC total a pH 7,0.

Portanto: Cátions da CTC potencial = (Teor do cátion / t) \* 100

Saturação de cálcio: % Ca = (Ca<sup>2+</sup>/CTC total) \* 100

Saturação de magnésio: % Mg = (Mg<sup>2+</sup>/CTC total) \* 100

Saturação de potássio: % K = (K<sup>+</sup>/CTC total) \* 100

#### 6.1.3.14. Determinação das relações entre Ca/Mg, Ca/K e Mg/K

Neste procedimento, de acordo com Embrapa (2009) foram calculadas as relações entre os cátions básicos da CTC Total.

Portanto: Relação entre Ca e Mg = (Ca<sup>2+</sup>/ Mg<sup>2+</sup>).

Relação entre Ca e K = (Ca<sup>2+</sup>/K<sup>+</sup>).

Relação entre Mg e K = (Mg<sup>2+</sup>/ K<sup>+</sup>).

#### 6.1.4. Análises no feijão

Para as análises das plantas de feijão foram realizadas as coletas das mesmas em estádio reprodutivo de pleno florescimento (R6) (EMBRAPA 2009).

##### 6.1.4.1. Massa Seca Total

Para determinação da massa seca total das plantas a campo, foram coletadas 15 plantas de feijoeiro por unidade experimental (parcela), no interior da área considerada como útil. As plantas foram lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel Kraft, devidamente identificados por tratamento e repetição, e em seguida submetidas a secagem em estufa de ventilação até peso constante a 65° C. Após este período, foram retiradas e submetidas a pesagem, obtendo-se a massa seca total de plantas (EMBRAPA, 2009).

##### 6.1.4.2. Comprimento de parte aérea

As 15 plantas que foram coletadas por parcela no campo, foram medidas quanto ao comprimento de parte aérea com o auxílio de uma régua. A partir da inserção dos cotilédones até o pico da parte aérea (NAKAGAWA, 1999).

#### 6.1.4.3. Determinação da produtividade do feijoeiro

No momento da colheita do feijoeiro submetido as condições de campo, a área útil de cada parcela teve todas as plantas coletadas. As plantas tiveram todas as vagens retiradas manualmente, sendo estas acondicionadas em sacos de papel Kraft devidamente identificados e submetidas a secagem em estufa de ventilação forçada a temperatura de 65° C, até peso constante. Após este processo, todas as vagens foram debulhadas manualmente, obtendo-se as sementes nuas de feijão. As sementes voltaram ao processo de secagem por mais 48 horas sob a mesma temperatura, em seguida, foi possível pesar cada amostra, determinando-se a produtividade por área (CASTEEL, 2014).

#### 6.1.4.4. Determinação do número de vagens por planta

Dentre todas as plantas de feijoeiro colhidas na área útil de cada parcela, 10 plantas tiveram a quantidade de vagens contadas. Este número obtido foi dividido pelas 10 plantas, obtendo-se a média por planta (CASTEEL, 2014).

#### 6.1.4.5. Determinação do número de grãos por vagens

Foi possível contar também o número de grãos obtidos nas 10 plantas coletadas a campo e dividi-los pela quantidade de vagens, obtendo-se assim a média de grãos por vagem (CASTEEL, 2014).

## 6.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.2.1. Solo

Não foi possível observar diferenças significativas entre os fatores testados e seus níveis apenas para as variáveis teor de Magnésio ( $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ ), Saturação por Bases (V%), Cálcio (%) e Mg (%). As demais variáveis foram influenciadas pelos diferentes níveis de cada uma dos fatores ou pela interação entre os fatores em 1 ou 5 % de probabilidade de erro (Tabela 17).

Tabela 18. Resultado dos testes de hipótese à partir da análise de variância dos dados obtidos.

Variável	Pó de Rocha	Biocarvão	Pó de Rocha x Biocarvão
pH CaCl <sub>2</sub>	*	ns	**
Matéria Orgânica	*	ns	ns
Carbono Orgânico	*	ns	ns
P-Mehlich 1	**	**	**
Potássio	ns	*	*
Cálcio	*	ns	*
Magnésio	ns	ns	ns
Alumínio	ns	ns	**
Hidrogênio+Alumínio	ns	**	*
Soma de Bases	*	ns	*
CTC Total	ns	ns	*
Saturação por Bases (V%)	ns	ns	ns
Alumínio (m%)	ns	*	**
Cálcio (%)	ns	ns	ns
Magnésio (%)	ns	ns	ns
Potássio (%)	*	*	*
Ca/Mg	**	ns	ns
Ca/K	ns	ns	*
Mg/K	ns	ns	*

\*\*significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

\* significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 < p < 0,05$ ).

ns – não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

Fonte:Elaborado pela autora.

#### 6.2.1.1. pH CaCl<sub>2</sub>

O valor de pH em CaCl<sub>2</sub> do solo foi influenciado pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 19).

Tabela 19. pH do solo em CaCl<sub>2</sub> em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5,0	7,5
0	4,8 bB	5,5 aA	5,2 abAB	5,3 abAB
6	5,1 abAB	5,6 aA	4,8 bB	5,6 aA
12	5,4 aA	5,4 aA	5,0 bA	4,9 bA
18	5,5 aA	5,2 aA	5,6 aA	5,2 abA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme é possível observar, a variável pH em CaCl<sub>2</sub> (potencial hidrogeniônico) do solo demonstra que a Testemunha, ou seja, sem a adição de biocarvão e pó de rocha, apresentou solo considerado ácido com valor de 4,8. Já o tratamento com a adição da dose 2,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha elevou o pH para 5,5 demonstrando diferença significativa em relação a testemunha. O mesmo ocorreu quando foram adicionadas as doses 5 e 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha.

O tratamento com  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de biocarvão também apresentou diferenças significativas da testemunha, sendo assim para as demais doses de biocarvão utilizadas isoladamente (Figura 21).

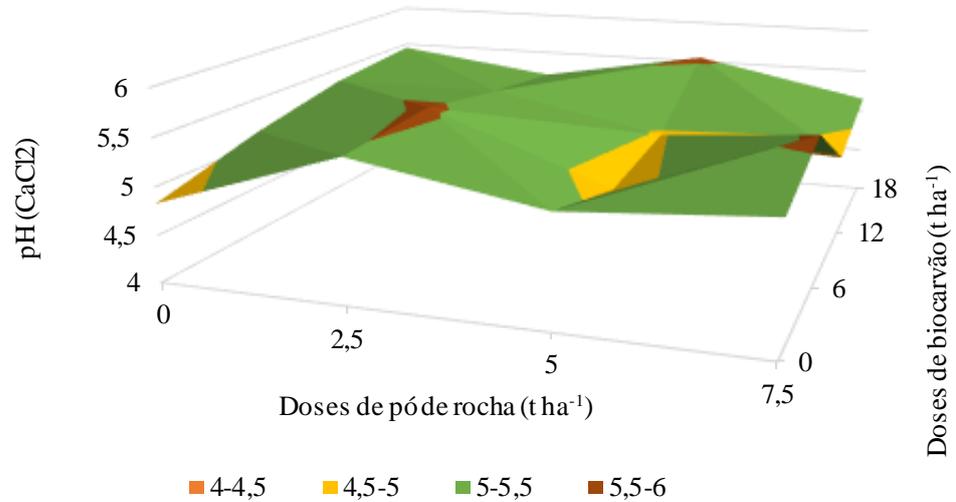


Figura 21. pH do solo (em  $\text{CaCl}_2$ ) em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

A condição de intemperismo químico foi observada no solo utilizado no experimento, o qual apresentava valor de pH considerado ácido antes da implantação do experimento. De acordo com Embrapa (2018) a classe de solo denominada Latossolos reporta-se a solos em avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo. Os solos são virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, e têm capacidade de troca de cátions da fração argila baixa, inferior a  $17 \text{ cmol c /kg}$  de argila sem correção para carbono.

Em outro estudo, o pó de rocha de basalto promoveu aumento nos teores de cálcio, magnésio, zinco, ferro e cobre, e foi capaz de elevar o pH do solo podendo também ser considerado como uma fonte alternativa de fertilizante e corretivo, dependendo da composição da rocha, granulometria do pó de rocha e condições do solo (MELO et al., 2012).

Neste contexto e conforme os resultados obtidos, aliado ao uso da rochagem, pode-se incrementar a utilização de biocarvão como alternativa de adubação para solos intemperizados, a fim de se reconstituir a fertilidade natural destes. Resultados de outro trabalho apontam que o pH do solo foi elevado com o aumento da dose de aplicação de biocarvão (SILVA, 2017). No entanto, conforme o mesmo autor, o uso em conjunto do corretivo e o condicionador, em doses mais altas elevou o pH do solo além da faixa ideal para a maioria das culturas, que é estabelecida

entre 5,5 e 6. Faixa esta que também é indicada para o cultivo de *P. vulgaris* em Latossolos (EMBRAPA, 2017). Portanto, doses medianas de pó de rocha e biocarvão são mais indicadas na correção do pH do solo, exatamente como o que foi observado no presente trabalho.

#### 6.2.1.2. Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo foi influenciada pelo pó de rocha (Figura 22), mas não pelo biocarvão, nem pela interação entre os fatores. Observa-se o desempenho do remineralizador pó de rocha no aumento dos valores médios de matéria orgânica no solo submetido as condições de campo.

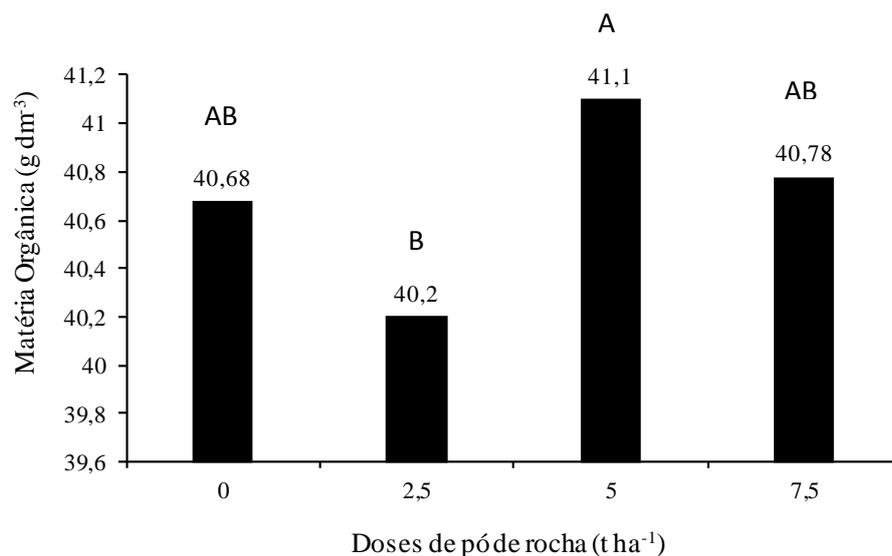


Figura 22. Matéria orgânica do solo em função de doses de pó de rocha.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Elaborado pela autora.

A dose 5 t ha<sup>-1</sup> se destacou em relação às demais, elevando o teor de matéria orgânica para 41,1 g dm<sup>-3</sup>. A dose 2,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha apresenta um resultado inferior de aproximadamente 40,2 g dm<sup>-3</sup> de matéria orgânica.

O biocarvão não influenciou os teores de Matéria Orgânica no solo ( $p > 0,05$ ). Madari et al. (2006) relataram que o método para a quantificação de matéria orgânica do solo baseado na oxidação por dicromato de potássio (Walkley-Black) apenas quantifica a matéria orgânica oxidável do solo e, como o biocarvão é muito estável, este método não o quantifica devido à difícil digestão com ácido sulfúrico concentrado (STEINER; TEIXEIRA; ZECH, 2004), portanto, este fato pode ter ocorrido no presente trabalho, já que o teor de carbono fixo presente no biocarvão utilizado foi de 80,5%.

Ao contrário, Omil et al. (2013) observaram que o biocarvão diminuiu as perdas de nutrientes por lixiviação em solo arenoso, promovendo aumento no teor de matéria orgânica do solo.

#### 6.2.1.3. Carbono orgânico

O carbono orgânico do solo foi influenciado pelas doses de pó de rocha (Figura 23), não sendo impactado pelo biocarvão nem pela interação entre pó de rocha e biocarvão.

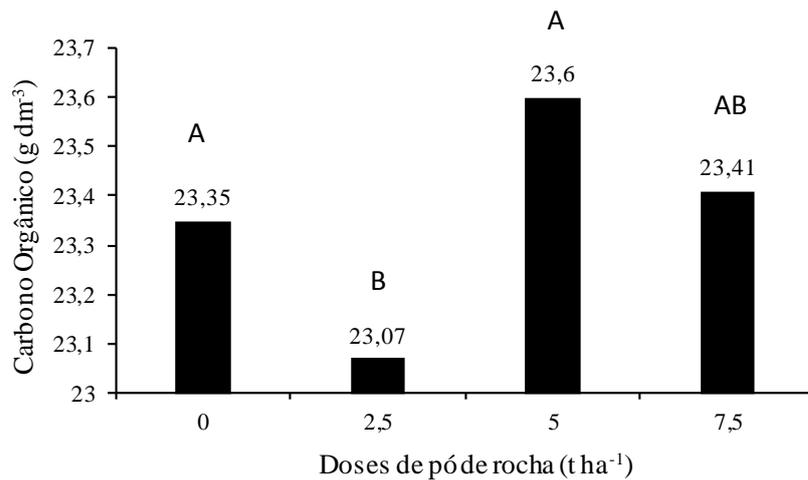


Figura 23. Carbono orgânico no solo em função de doses de pó de rocha.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Elaborado pela autora.

Como é possível observar, a dose 5 t ha<sup>-1</sup> se destacou em relação às demais, elevando o teor de carbono orgânico para 23,6 g dm<sup>-3</sup>. A dose 2,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha apresenta um resultado inferior, com 23,07 g dm<sup>-3</sup> de carbono orgânico. Na condição do experimento, o biocarvão não influenciou os teores de carbono orgânico ( $p > 0,05$ ).

#### 6.2.1.4. Fósforo

Os teores de fósforo do solo em Mehlich 1 foram influenciados pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 20).

Tabela 20. Valores dos teores de fósforo em Mehlich 1 no solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	3,2 bA	4,0 aA	3,6 bA	4,6 bA
6	3,4 bA	3,9 aA	3,4 bA	4,3 bA
12	6,1 aA	4,2 aB	3,9 bB	6,4 aA
18	6,0 aA	3,5 aB	6,8 aA	6,4 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Ocorreu interação entre os fatores testados, pó de rocha e biocarvão, seguindo uma leve tendência de aumento nos teores de fósforo, conforme o aumento das doses adicionadas. Com isso é possível observar que a combinação das doses 5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão apresentam os maiores valores de fósforo em Mehlich 1 (Figura 24).

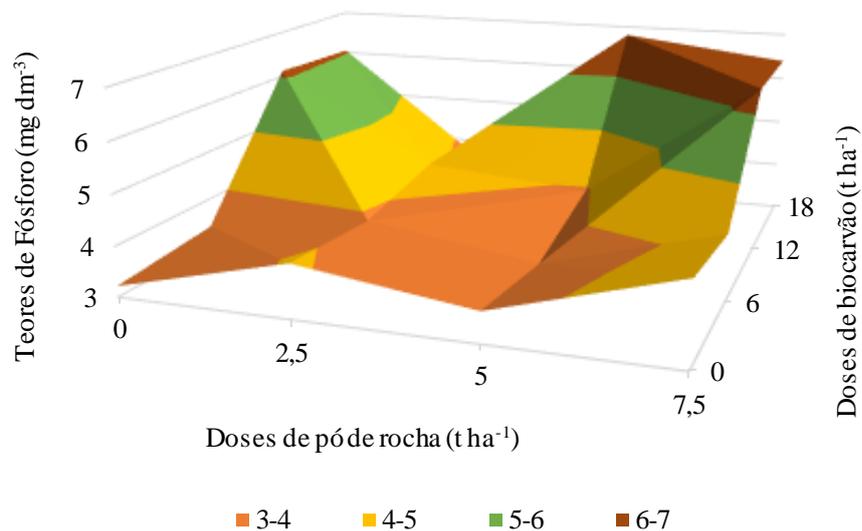


Figura 24. Teores de fósforo em Mehlich 1 em função de doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

O fósforo é um nutriente que apresenta os critérios de essencialidade e sua deficiência limita o crescimento das plantas, sendo assimilado exclusivamente na forma inorgânica (NUNES et al., 2013). A interação entre a rochagem e o biocarvão elevaram os teores de fósforo no solo. Ressalta-se que foi possível obter tais resultados mesmo com o pouco tempo de duração da pesquisa (aproximadamente 15 meses). Nota-se, portanto, a importância da utilização das plantas de cobertura para solubilização dos nutrientes componentes do pó de rocha, bem como

a importância de todo o manejo adequado do sistema solo- planta a fim de se obter a recuperação de áreas de solos intemperizados e a boa condução dos cultivos. Enfatiza-se, portanto, a promoção da interação entre os diversos fatores envolvidos, evitando-se práticas pontuais para recuperação da fertilidade natural dos solos com aptidão agrícola.

Como na maioria das regiões tropicais há predominância de solos com baixas concentrações de fósforo, ocorre assim, a exigência da reposição desse nutriente por adubação fosfatada para tornar as áreas produtivas (PINHEIRO et al., 2014). Neste contexto, é possível enfatizar a prática da rochagem aliada ao biocarvão como alternativa, conforme os resultados apresentados, haja vista que o teor inicial de fósforo no solo foi  $2,85 \text{ mg dm}^{-3}$ , teor considerado baixo (EMBRAPA, 2017).

#### 6.2.1.5. Potássio

O teor de potássio do solo foi influenciado pela interação entre os fatores biocarvão e pó de rocha (Tabela 21).

Tabela 21. Valores dos teores de Potássio obtidos do solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Pó de rocha ( $\text{t ha}^{-1}$ )			
	0	2,5	5	7,5
0	0,50 bB	0,51 bB	0,59 aA	0,59 bA
6	0,61 aB	0,56 aB	0,60 aB	0,67 aA
12	0,65 aA	0,58 aA	0,61 aA	0,60 bA
18	0,64 aB	0,59 aB	0,65 aB	0,67 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar uma leve tendência de aumento nos teores com o aumento dos níveis de pó de rocha e biocarvão. Desta forma, observa-se que a combinação das doses  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha com  $18 \text{ t ha}^{-1}$  de biocarvão apresentaram os maiores teores de potássio (Figura 25).

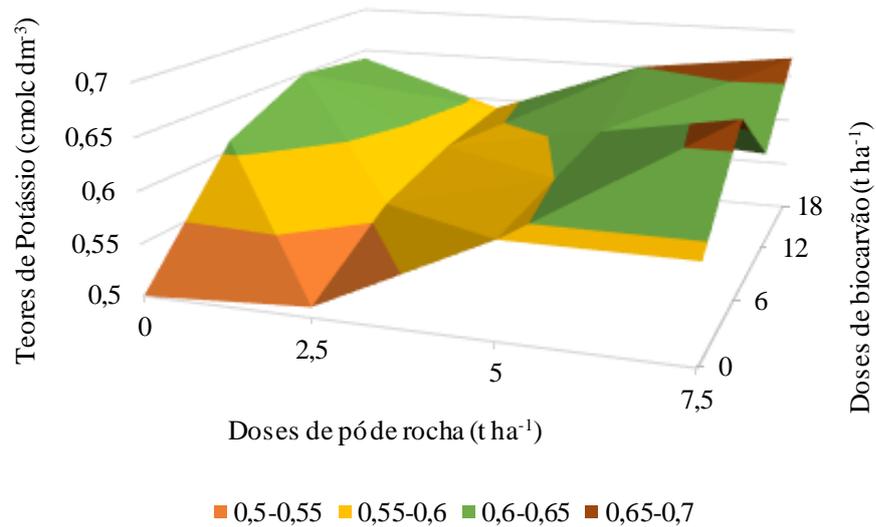


Figura 25. Teores de potássio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

O teor inicial de potássio no solo foi 0,15 cmolc dm<sup>-3</sup>, considerado baixo (EMBRAPA, 2017). Nota-se a influência positiva dos fatores testados apresentando elevação desse nutriente no solo para suprir a demanda do feijão. Potássio e nitrogênio são nutrientes correlacionados pela função do potássio na ativação da enzima redutase do nitrato (RABELO et al., 2017). A atuação desta enzima é de fundamental importância na incorporação de nitrogênio inorgânico em moléculas orgânicas complexas, sendo a etapa limitante nesse processo (SILVA et al., 2011).

#### 6.2.1.6. Cálcio

Os teores de cálcio do solo também foram influenciados pela interação entre biocarvão e pó de rocha (Tabela 22).

Tabela 22. Valores dos teores de cálcio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	3,97 aA	3,91 aA	4,18 abA	4,17 abA
6	3,95 aA	4,17 aA	3,76 bA	4,33 abA
12	4,20 aA	4,09 aA	4,24 abA	4,07 bA
18	4,16 aAB	3,64 aB	4,41 aA	4,74 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).  
Fonte: Elaborado pela autora.

Os menores teores de Cálcio são observados na interação da dose 2,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão. As doses 6 e 12 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão combinadas com 5 e 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha também apresentam resultados inferiores com diferenças significativas em relação aos demais resultados para teores de cálcio. Solos que sofreram mais intemperismo possuem teores de Cálcio mais baixos, portanto a elevação desses teores pode indicar o rejuvenescimento do solo (EMBRAPA, 2015). Observa-se tendência de que a combinação das doses 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão resultem nos maiores teores de Cálcio (Figura 26).

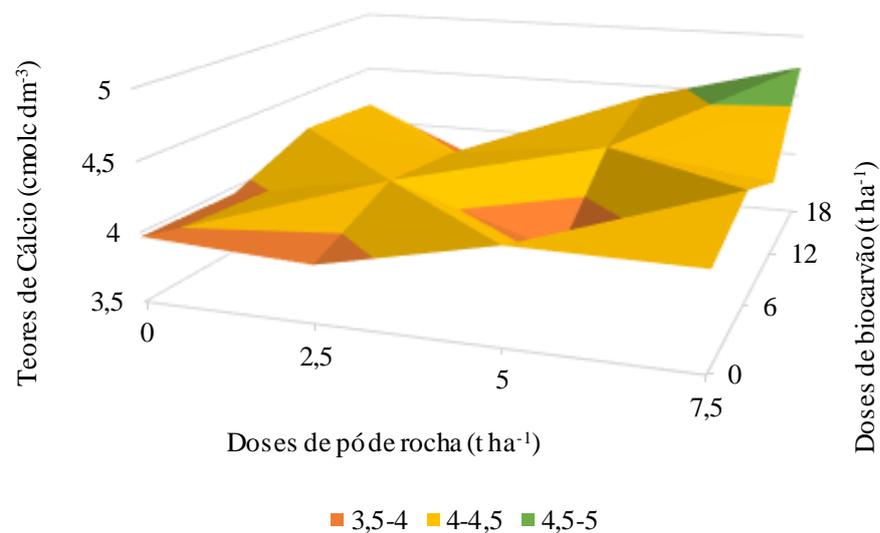


Figura 26. Teores de cálcio no solo em função de doses crescentes de biocarvão e pó de rocha. Fonte: Elaborado pela autora.

O feijão apresenta ciclo curto, com pequeno e pouco profundo sistema radicular (SILVA et al., 2011). O cálcio é importante na preservação da capacidade de absorção das raízes mediante a manutenção da integridade da membrana plasmática, bem como na prevenção da perda de solutos para a solução externa, aumentando o acúmulo de nutrientes pela planta (MALAVOLTA, 2006). Além disso, Lambais (2006) afirma que a deficiência de cálcio resulta em baixo crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, com consequente exploração de menores volume de solo, prejudicando a absorção de nutrientes e água, sujeitando as plantas de feijoeiro à deficiências minerais e à déficits hídricos. Portanto, a influência dos fatores testados melhora a fertilidade do solo, possivelmente contribuindo para a cultura do feijão.

### 6.2.1.7. Alumínio

O teor de alumínio do solo foi influenciado pela interação dos fatores biocarvão e pó de rocha (Tabela 23).

Tabela 23. Teor de Alumínio no solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	0,30 aA	0,30 abA	0,15 bA	0,20 aA
6	0,25 aAB	0,05 bB	0,45 aA	0,15 aB
12	0,15 aA	0,13 abA	0,23 abA	0,23 aA
18	0,18 aAB	0,35 aA	0,25 bB	0,00 aB

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Há uma tendência de queda nos teores de alumínio do solo com o aumento das doses de pó de rocha e biocarvão. A dose de 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão extinguiu os teores de alumínio do solo (Figura 27).

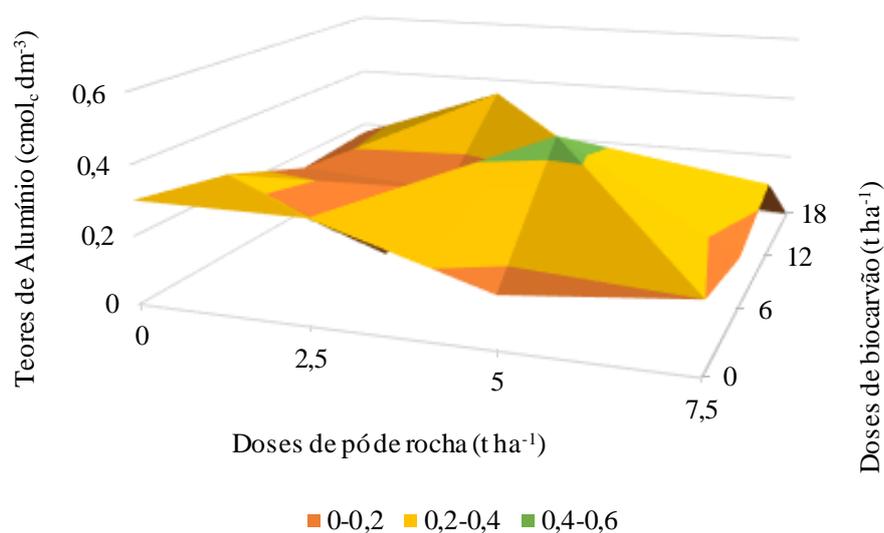


Figura 27. Teor de Alumínio no solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

Em outro trabalho o biocarvão aumentou o pH do solo e diminuiu a acidez e a toxidez por alumínio, além de ter melhorado significativamente a fertilidade do solo, a retenção de água, a capacidade de troca catiônica, a aeração e a disponibilidade de nutrientes para as plantas (REN

et al., 2016). O biocarvão combinado com a rochagem ocasionou resultados positivos para recuperação da fertilidade natural do solo sob condições de campo, resultado este que já era esperado devido aos valores de pH ( $\text{CaCl}_2$ ) que foram aumentados com a interação das doses testadas. Conforme Embrapa (2015) na condição em que o pH está em torno de 5,2 a 5,3 o alumínio trocável está quase na sua totalidade insolubilizado e não causa mais danos as raízes, favorecendo a cultura do feijoeiro.

#### 6.2.1.8. Hidrogênio + alumínio

O teor de hidrogênio + alumínio do solo também foi influenciado pela interação entre o biocarvão e o pó de rocha (Tabela 24).

Tabela 24. Teor de hidrogênio + alumínio do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Pó de rocha ( $\text{t ha}^{-1}$ )			
	0	2,5	5	7,5
0	6,85 aA	6,42 aA	5,89 bA	6,28 aA
6	6,39 abAB	6,24 aAB	6,99 aA	5,86 aB
12	5,37 bA	5,92 aA	6,21 abA	5,53 aA
18	6,16 abA	6,43 aA	5,56 bA	5,46 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar que os teores de hidrogênio + alumínio foram influenciados significativamente, diminuindo seus teores no intercruzamento das doses  $7,5 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha com  $6 \text{ t ha}^{-1}$  de biocarvão (Figura 28). O biocarvão nas doses 6 e  $18 \text{ t ha}^{-1}$  combinadas com  $5 \text{ t ha}^{-1}$  de pó de rocha também diminuiram os teores de hidrogênio + alumínio nas amostras de solo.

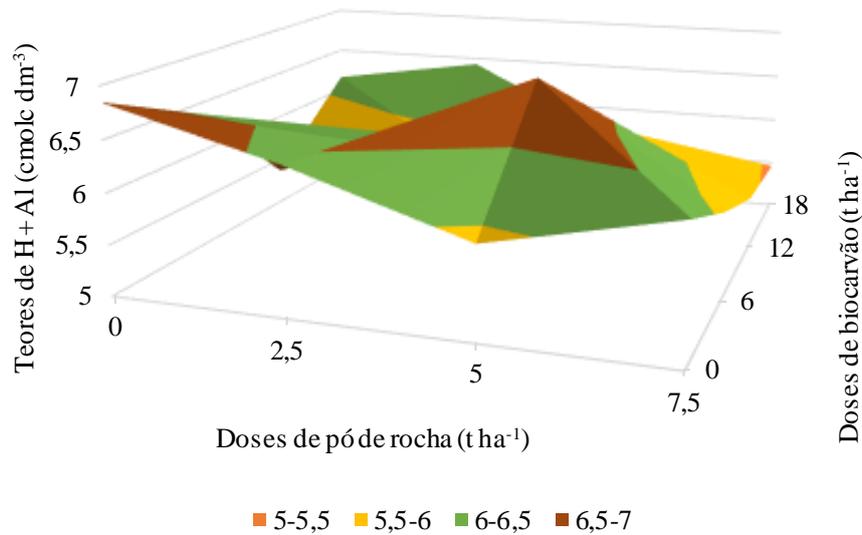


Figura 28. Teor de hidrogênio + alumínio no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

A presença de alumínio no solo pode inibir o crescimento radicular e influenciar na disponibilidade de outros nutrientes e processos como a mineralização da matéria orgânica. É necessário oferecer ao solo nutrientes capazes de ocupar os espaços que seriam preenchidos pelos componentes da acidez H ou Al (EMBRAPA, 2015). A combinação entre pó de rocha e biocarvão comprovou-se eficiente neste processo.

#### 6.2.1.9. Soma de bases

Foi registrada interação entre os fatores biocarvão e pó de rocha para a variável soma de bases do solo (Tabela 25).

Tabela 25. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	6,15 aA	6,16 aA	6,56 abA	6,51 aA
6	6,31 aAB	6,52 aAB	5,77 bB	6,80 aA
12	6,69 aA	6,50 aA	6,64 aA	6,47 aA
18	6,59 aAB	5,97 aAB	6,84 aA	7,27 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Fonte: Elaborado pela autora.

A dose 5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 6 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão resultou em menor valor de soma de bases em relação as demais combinações das doses. Observa-se aumento na soma de bases do solo com o aumento das doses de pó de rocha e biocarvão, sendo possível afirmar que o melhor intercruzamento de doses foi de 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão (Figura 29).

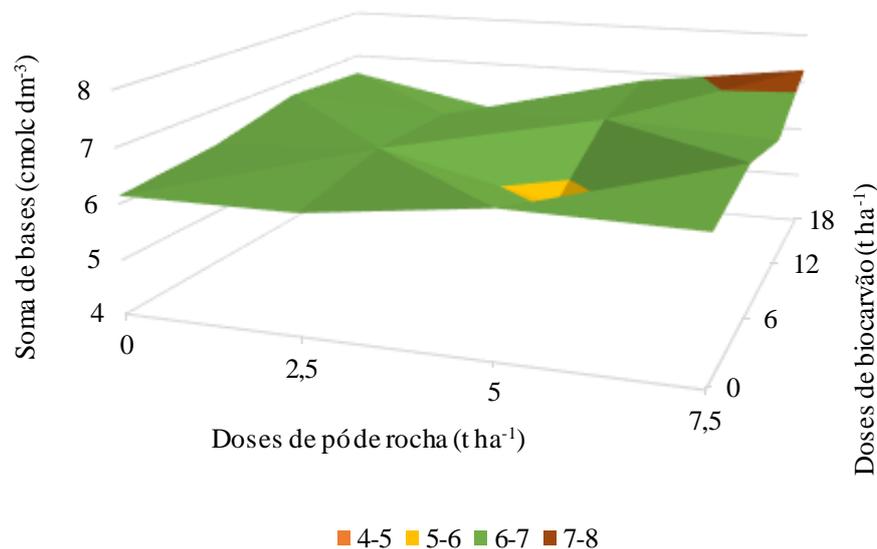


Figura 29. Soma de bases do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

O teor de cinzas no biocarvão de coco de babaçu utilizado, era de 3,1% (Tabela 4). Woiciechowski et al. (2018) também observaram a elevação nos teores das bases trocáveis (K, Ca e Mg), apesar de não ser possível observar efeito significativo para aumento do teor de Mg neste trabalho conduzido a campo. Segundo eles, este fato deve estar relacionado com a constituição do material incorporado, devido à maior presença de cinzas na constituição do biocarvão, e com isso houve o aumento do pH do solo e a redução do Al e da acidez potencial aos 60 e 180 dias após a incorporação do biocarvão.

#### 6.2.1.10. Capacidade de Troca Catiônica

Foi registrada interação entre os fatores biocarvão e pó de rocha para a variável capacidade de troca catiônica do solo (Tabela 26).

Tabela 26. CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	12,17 aA	12,58 aA	12,12 aA	12,79 aA
6	12,70 aA	12,75 aA	12,77 aA	12,46 aA
12	12,06 aB	12,41 aAB	12,85 aA	12,00 aB
18	12,75 aA	12,39 aA	12,40 aA	12,72 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05).

Fonte: Elaborado pela autora.

A indicação de poucas diferenças significativas entre as doses dos fatores testados. No entanto, a dose 5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 12 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão representa leve tendência em aumentos dos valores da capacidade de troca catiônica presente nas amostras de solo submetidos às condições de campo, em detrimento das demais combinações (Figura 30).

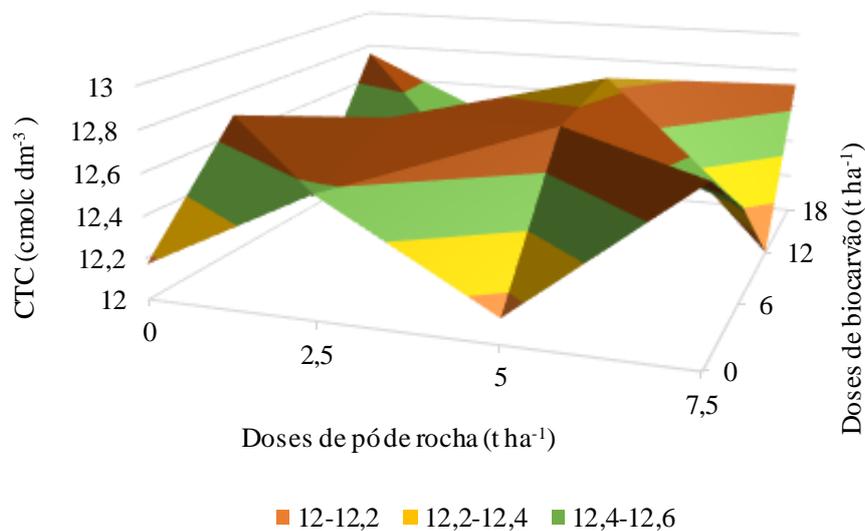


Figura 30. Capacidade de troca de cátions do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme Embrapa (2015) a capacidade de troca catiônica dos solos representa a graduação da capacidade de liberação de vários nutrientes, favorecendo a manutenção da fertilidade por um prolongado período e reduzindo ou evitando a ocorrência de efeitos tóxicos da aplicação de fertilizantes. Foi possível observar a influência dos fatores testados pó de rocha e biocarvão no aumento da CTC do solo utilizado no experimento a campo, representando

respostas positivas ao manejo utilizado e corroborando com diversas pesquisas efetuadas com rochagem e biocarvão (WOICIECHOWSKI et al., 2018; REN et al., 2016; MELLO et al., 2012).

#### 6.2.1.11. Porcentagem de Alumínio na CTC do solo

Os teores de alumínio do solo foram influenciados pela interação entre as doses de biocarvão e de pó de rocha (Tabela 27).

Tabela 27. Porcentagem de alumínio do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	3,95 aA	4,55 aA	2,23 bA	2,98 aA
6	4,10 aA	3,28 aA	7,15 aA	3,30 aA
12	2,30 aA	2,10 aA	3,25 bA	2,98 aA
18	3,18 aAB	5,65 aA	0,40 bB	0,00 aB

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar que há uma tendência de queda na porcentagem de alumínio (m%) da CTC efetiva, conforme ocorre o aumento das doses. As doses 5 e 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão extinguiram os teores de Alumínio presentes nas amostras de solo (Figura 31).

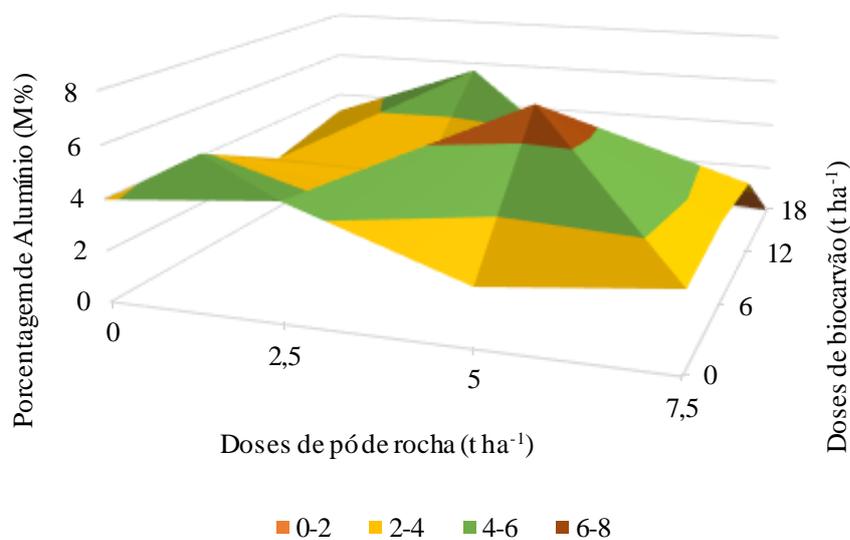


Figura 31. Porcentagem de alumínio do solo função de doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.2.1.12. Porcentagem de potássio na CTC do solo

Foi registrada influência da interação entre as doses de biocarvão e pó de rocha na porcentagem de potássio na CTC total do solo (Tabela 28).

Tabela 28. Porcentagem de potássio na CTC dos solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	4,13 bA	4,02 aA	4,80 bA	4,63 bA
6	4,80 aA	4,43 aA	2,85 bB	5,38 aA
12	5,35 aA	4,68 aA	4,73 aA	5,03 aA
18	5,26 aA	4,75 aA	5,20 aA	5,25 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se aumento nas % K com o aumento das doses dos fatores testados, pó de rocha e biocarvão, sendo possível indicar as doses 7,5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha combinada com 6 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão como sendo a combinação mais indicada (Figura 32).

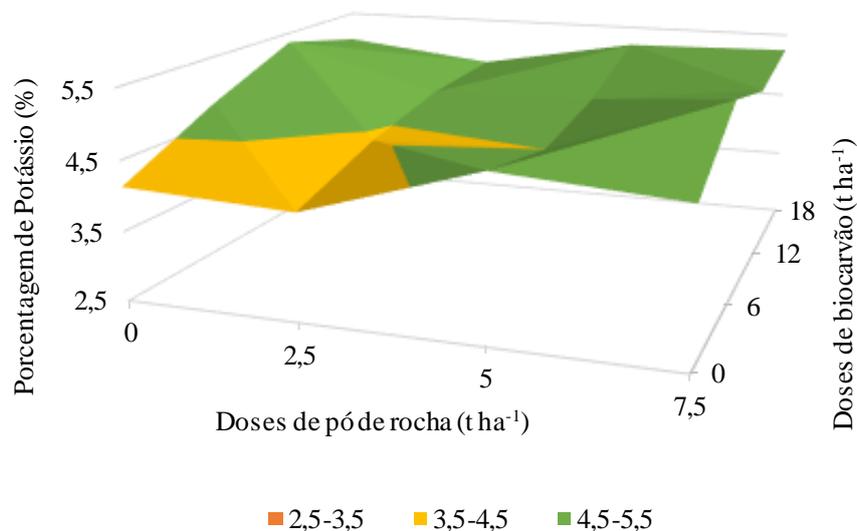


Figura 32. Porcentagem de potássio na CTC do solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.2.1.13. Relação entre Cálcio e Magnésio

Houve influência da dose de pó de rocha nos valores de Ca/Mg do solo (Figura 32).

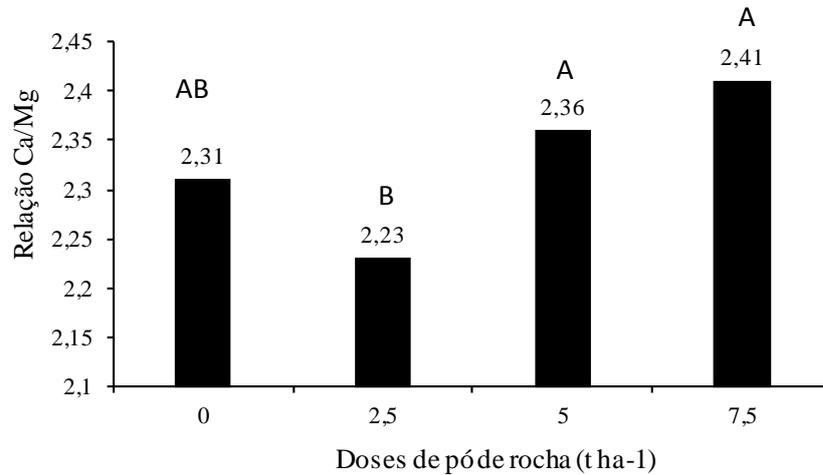


Figura 33. Relação de Ca/Mg no solo em função de doses de pó de rocha.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Fonte: Elaborado pela autora.

As doses 5 e 7,5 t ha<sup>-1</sup> se destacam em relação às demais, não apresentando diferença entre si nem da testemunha.

### 6.2.1.14. Relação entre Cálcio e Potássio

A relação entre Ca/Mg dos solos foi influenciada pela interação entre as doses de biocarvão e pó de rocha (Tabela 29).

Tabela 29. Valores referentes a relação entre Cálcio e Potássio (Ca/K) obtidos a partir de análise do solo em condições de campo, em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	8,28 aA	7,85 aA	7,35 bA	7,10 aA
6	6,48 aB	7,43 aB	10,88 aA	6,53 aB
12	6,55 aA	7,38 aA	7,05 bA	6,88 aA
18	6,58 aA	6,45 aA	6,90 bA	7,13 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

É possível observar a interação significativa entre as doses de pó de rocha e biocarvão influenciando positivamente na relação Ca/Mg. Nota-se uma tendência de que a combinação das doses 5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 6 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão se destaca em relação às demais combinações de doses (Figura 34).

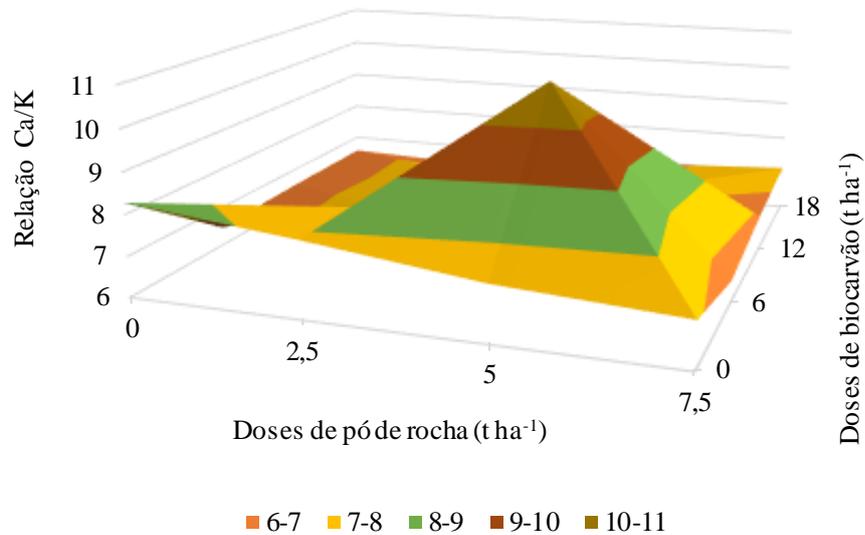


Figura 34. Relação Ca/K no solo em função de doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 6.2.1.15. Relação entre Magnésio e Potássio

A relação entre Ca/K dos solos foi influenciada pela interação entre as doses de biocarvão e pó de rocha (Tabela 30).

Tabela 30. Relação Mg/K do solo em função de doses de biocarvão e de pó de rocha.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	3,53 aA	3,50 aA	3,18 bA	2,98 aA
6	2,90 aB	3,23 aB	4,75 aA	2,75 aB
12	2,88 aA	3,30 aA	3,00 bA	3,05 aA
18	2,85 aA	3,03 aA	2,80 bA	2,80 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

A combinação das doses 5 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha com 6 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão se destaca em relação às demais doses (Figura 35).

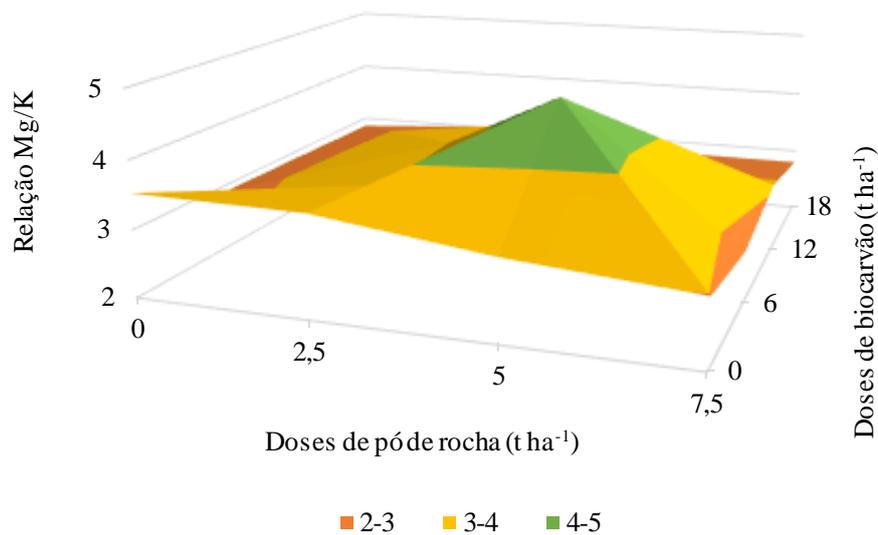


Figura 35. Relação Mg/K do solo submetido a doses de biocarvão e pó de rocha.  
Fonte: Elaborado pela autora.

### 6.2.2. Feijão

As variáveis número de vagens planta<sup>-1</sup>, número de grãos por vagens<sup>-1</sup> e produtividade de grãos de feijão não foram influenciadas pelos tratamentos. No entanto, o comprimento total de parte aérea foi influenciado pela interação entre biocarvão e pó de rocha e a massa seca das plantas de feijão pelos níveis de biocarvão e pó de rocha de forma isolada (Tabela 31).

Tabela 31. Resultados do teste de hipótese à partir das análises de variância para as variáveis do feijão.

Variáveis	Pó de rocha	Biocarvão	Pó x Biocarvão
Comprimento parte aérea	ns	ns	*
Massa seca total	*	*	ns
Nº de vagens planta <sup>-1</sup>	ns	ns	ns
Nº de grãos vagens <sup>-1</sup>	ns	ns	ns
Produtividade de grãos	ns	ns	ns

\* significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ).

ns – não significativo a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

A alta fixação do fósforo geralmente observada nos Latossolos pode ter interferido na eficiência das adubações e nos resultados apresentados para as análises realizadas em plantas de feijoeiro. O pouco tempo de atuação do pó de rocha e biocarvão no solo (15 meses), conforme tempo de duração da pesquisa, o manejo inadequado deste em anos anteriores e a condição de baixa fertilidade inicialmente apresentada podem ter ocasionado a ausência de

interferências significativas dos tratamentos testados nas variáveis produtividade, número de grãos/vagens e número de vagens/planta na cultura do feijoeiro.

Da mesma forma, Vogt et al. (2013) realizaram uma comparação de adubo orgânico com pó de rocha sobre a produtividade de quatro variedades de feijão, como resultados obteve-se que o aumento da dose de cama de aviário proporcionou ganhos na produtividade, em contrapartida o aumento da quantidade de pó de basalto não apresentou rendimentos na produtividade.

#### 6.2.2.1. Comprimento de parte aérea

Foi registrada interação entre biocarvão e pó de rocha para a variável comprimento de parte aérea do feijão (Tabela 32).

Tabela 32. Comprimento da parte aérea de plantas de feijão em função de doses de biocarvão e pó de rocha incorporadas no solo.

Biocarvão (t ha <sup>-1</sup> )	Pó de rocha (t ha <sup>-1</sup> )			
	0	2,5	5	7,5
0	30 bB	44 aA	21,9 cC	45 bA
6	40 aA	42 aA	40 bA	42 bA
12	40 aB	45 aA	49 aA	44 bAB
18	42 aB	42 aB	44 bB	50 aA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Elaborado pela autora.

A variável comprimento de parte aérea de plantas de feijoeiro sob condições de campo apresentou incremento do comprimento da parte aérea das plantas com o aumento das doses de pó de rocha. As doses de biocarvão também seguiram tendência de incremento no comprimento de parte aérea das plantas conforme aumento das doses.

Pó de rocha e biocarvão influenciaram positivamente no crescimento vegetal, conforme observado com a variável comprimento de parte aérea. Da mesma forma, Zhao et al. (2014) concluíram que biocarvão de palha de arroz promove o crescimento das plantas, com aumentos na produção de biomassa total nas concentrações de 4,7 e 9 t ha<sup>-1</sup> em conjunto com uma mistura de N, P, K em quatro safras consecutivas de trigo (inverno) e arroz (verão).

### 6.2.2.2. Massa seca total de feijão

A massa seca das plantas de feijão foi influenciada pelas doses de pó de rocha (Figura 36 A) e de biocarvão (Figura 36 B), mas não pela interação dos fatores.

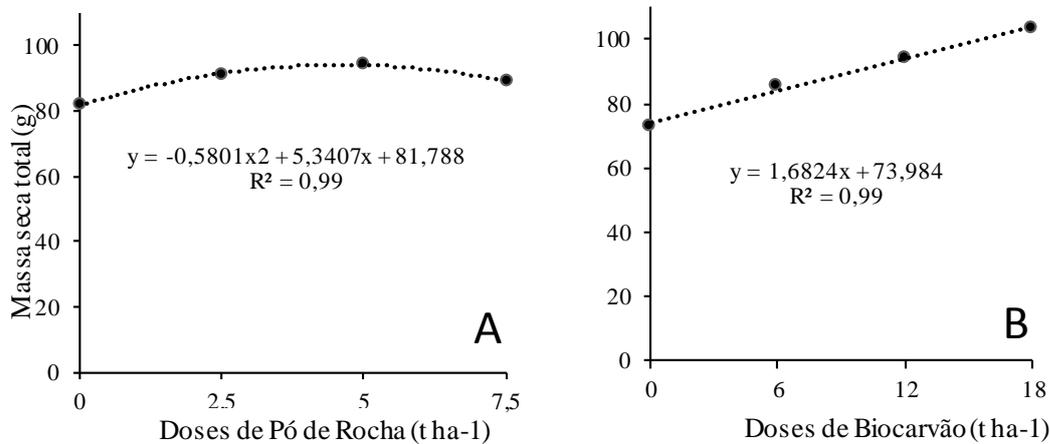


Figura 36. Massa seca total de plantas de feijoeiro em pleno florescimento submetidas a doses crescentes de pó de rocha (A) e de biocarvão (B) incorporados ao solo.

Fonte: Elaborado pela autora.

Foi possível determinar o ponto de máximo (PM) da equação ajustada, ou seja, indicar a melhor dose de pó de rocha que proporcionou a maior produção de massa seca total nas plantas de feijoeiro, sendo realizado a partir da derivada de primeira ordem ( $dx/dy$ ) da expressão  $y = -0,5801x^2 + 5,3407x + 81,788$ . Desta forma, é possível observar que o PM é igual a 4,60 t ha<sup>-1</sup> de pó de rocha. Já a influência do biocarvão sobre a massa seca total das plantas de feijoeiro cultivadas sob condições de campo indica que a dose mais adequada para produção de massa seca total foi a máxima avaliada, de 18 t ha<sup>-1</sup> de biocarvão.

### 6.3. CONCLUSÃO

A interação entre pó de rocha e biocarvão elevou significativamente o pH do solo, teores de Fósforo, Potássio, Cálcio, Soma de Bases, CTC, Potássio (%) relação entre Ca/K e Mg/K.

A mesma interação entre pó de rocha e biocarvão reduziu os teores de Alumínio, Hidrogênio + Alumínio e Alumínio (m%) no solo.

Pó de rocha de forma isolada influenciou positivamente os teores de matéria orgânica, carbono orgânico e a relação entre Ca/Mg.

Em plantas de feijoeiro a interação entre pó de rocha e biocarvão foi significativa para comprimento de parte aérea. A massa seca total do feijão apresentou resultados significativos para os fatores pó de rocha e biocarvão quando observados de forma isolada com os maiores valores sendo obtidos com 4,6 ton ha<sup>-1</sup> de pó de rocha e 18 ton ha<sup>-1</sup> de biocarvão.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os resultados obtidos no presente trabalho, foi possível observar a influência positiva da combinação entre o remineralizador pó de rocha e o condicionador biocarvão no sistema solo-planta. Estes resultados podem representar grandes benefícios para a agricultura orgânica, haja visto que neste sistema, os fertilizantes solúveis (NPK) não podem ser utilizados. Além disso, as vantagens de se amenizar problemas ambientais como eutrofização e lixiviação de nutrientes são revertidos em sustentabilidade para a agricultura e qualidade de vida para os agricultores e a sociedade em geral.

As variáveis analisadas no solo utilizado no experimento a campo demonstraram efeitos significativos para pH, matéria orgânica, carbono orgânico, teores de Fósforo, Potássio, Cálcio, Soma de Bases, CTC, Potássio (%), relação entre Ca/K, Mg/K e Ca/Mg. Estes efeitos condizem com a recuperação da fertilidade natural de uma área agrícola com solo desgastado, como ocorre com os Latossolos. Sabe-se que o manejo adequado utilizado nos dois experimentos, em casa de vegetação e em campo foram fundamentais para a obtenção de tais resultados. É possível que o uso de plantas de cobertura com capacidade de solubilização, apesar de não ser quantificado no presente trabalho, tenha contribuído para liberação dos nutrientes presentes na rochagem, reforçando a importância de práticas conservacionistas na agricultura, seja orgânica ou até mesmo convencional e devem ser alvo de futuros trabalhos de pesquisa.

A mesma interação entre pó de rocha e biocarvão no experimento a campo reduziu os teores de Alumínio, Hidrogênio + Alumínio e Alumínio (m%) no solo, este fato, em especial para cultura do feijão, é de grande importância para o sistema radicular das plantas de feijoeiro que pode ser inibido pela presença de alumínio, sendo que a cultura já apresenta um sistema radicular curto, dificultando a interceptação dos nutrientes no solo.

A produtividade do feijoeiro, bem como número de grãos/vagens e número de vagens/planta não foram influenciados. Acredita-se que a alta fixação do fósforo possa ter interferido neste resultado, apesar de sua presença no solo analisado. O pouco tempo de atuação do pó de rocha e biocarvão no solo (15 meses), conforme tempo de duração da pesquisa também pode ter ocasionado a falta de influências positivas na cultura. Apesar deste fato, as variáveis comprimento de parte aérea e massa seca total foram influenciadas positivamente. Observa-se, portanto, um investimento da planta no seu desenvolvimento, mas não em produtividade de grãos. Sendo assim, as plantas podem ter sentido deficiência nutricional de alguns outros nutrientes não avaliados, o que corrobora com a necessidade de se observar quais nutrientes

estão sendo dispostos no sistema, de acordo com a rochagem e o biocarvão utilizados, origem do material e até temperatura de pirólise para o biocarvão.

Em casa de vegetação os resultados foram semelhantes aos obtidos no experimento a campo. A interação entre pó de rocha e biocarvão elevou significativamente os teores de Matéria Orgânica, Carbono Orgânico, Fósforo, Potássio, Cálcio, Soma de Bases, CTC, Potássio (%), relação entre Ca/K e Mg/K e reduziu os teores de Alumínio no solo. De forma isolada, pó de rocha e biocarvão, influenciaram positivamente os teores de Magnésio, Mg (%), Al (%), Saturação por Bases (V%) e reduziram teores de Hidrogênio + Alumínio.

Não houve interações entre os fatores pó de rocha e biocarvão para a variável pH em casa de vegetação diferentemente do resultado observado no experimento conduzido a campo. É provável que as condições controladas de umidade e temperatura tenham impedido a solubilização dos nutrientes componentes, principalmente do remineralizador pó de rocha, apesar da rotação com as culturas de cobertura e anual, ao contrário das condições de campo, onde este processo pode ser mais acentuado. Este mesmo fato pode ter ocasionado, em plantas de feijoeiro, os efeitos de biocarvão sem a influência da rochagem. Sendo que os resultados foram significativos para Comprimento de Parte Aérea e Massa Seca Total. Novamente a cultura investiu em seu desenvolvimento, porém a produtividade, bem como demais variáveis testadas a campo em plantas, não puderam ser repetidas em cultivo protegido, devido ao cultivo de apenas duas plantas por vaso.

Os agricultores podem acessar a rochagem a partir de resíduos de pedreiras, denominados como *fillers*, com granulometrias possíveis de solubilização e aproveitamento em solos agrícolas, conforme as legislações vigentes. A comercialização deste material está se tornando acessível em diversas regiões. Da mesma forma, biocarvão é comercializado em diversas regiões, porém, para este último, há a possibilidade de produção pelos agricultores em sua propriedade rural, aproveitando-se de resíduos de materiais orgânicos, desde que sejam observados através de análise, os teores dos nutrientes que estão sendo dispostos no solo, bem como as recomendações dispostas pela NBR 8112 da ABNT (1986).

É importante que as pesquisas, principalmente em relação as doses destes materiais a serem utilizados, continuem sendo realizadas. Ocorre a necessidade de responsabilidade na aplicação de pó de rocha e biocarvão no solo, a fim de se evitar efeitos, que porventura possam ser negativos ao ambiente. Efeitos ainda desconhecidos, porém, há a precaução em fomentar a utilização de doses específicas. Portanto, espera-se que este trabalho possa ter contribuído para a sustentabilidade agrícola, em especial para os agricultores orgânicos.

## 8. REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, J. A.; SALAZAR, P.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; CAMPILLO, M. C.; GALLARDO, A.; VILLAR, R. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, p. 475-484, 2013.
- ALTIERI, M.A.; LANA, M. A.; BITTENCOURT, H. V. H.; KIELING, A. S.; COMIN, J. J.; LOVATO P. E. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina, Brazil. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 35, p. 855-869, 2011.
- ANGIN, D.; SENSOZ, S. Effect of pyrolysis temperature on chemical and surface properties biochar of rapeseed (*Brassica Napus* L). **International Journal of phytoremediation**, v.16, p.684-693, 2014.
- ARAÚJO, L. S.; CUNHA, P.C.R.; SILVEIRA, P. M.; NETTO, M. S.; OLIVEIRA, F. C. Potencial de cobertura do solo e supressão de tiririca (*Cyperus rotundus*) por resíduos culturais de plantas de cobertura. **Revista Ceres**, v.62, n.5, p.483-488, 2015.
- ASSIS, L. B.; et al. **Desafios em soberania e segurança alimentar: a utilização da rochagem como fonte alternativa sustentável**. Anais II Congresso Brasileiro de Rochagem. Poços de Caldas, 2013, p.125-132.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 8112/86 – Carvão vegetal: análise imediata do carvão vegetal. 6p. 1986.
- BARROS, T. D.; JARDINE, J. G. **Nabo forrageiro**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, Brasília, D.F. (2012). Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fb123vn002wx5eo\\_0sawqe38tspejq.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fb123vn002wx5eo_0sawqe38tspejq.html). Acesso em: 20 de abril de 2021.
- BERGMANN, M. et al. **Considerações sobre o potencial de uso agrônomo das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná**. In: HARTMANN, L.A.; SILVA, J; T. da; DONATO, M. (Org.). Anais Tecnologia e Inovação em Gemas, Jóias e Mineração. Porto Alegre: UFRGS, 2014, p. 119-126.
- BESSA, M. M.; VENTURA, M. V. A.; ALVES, L. S. Agroecologia, sustentabilidade e a necessidade dos movimentos agroecológicos se tornarem políticas públicas. **Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins – V. 2 – n. 02**. p.181-197, jan/jun. 2016.
- BRASIL – MAPA (Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento), Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Legislação para sistema orgânico de produção**. Brasília, 2009. 195p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2009, 399 p.
- BRANDÃO, F. S., et al. O papel do agronegócio brasileiro na redução de emissão de gases de efeito estufa (GEES). **Revista Agroambiente**. 6 (1) (2012), pp. 84-90.

BRANDÃO, J. A. V. (2012). **Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto da agroecologia**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de São Carlos – Araras/S.P., 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 05 de 10 de março de 2016**. Diário Oficial da União, Brasília, 100 DF, 14 mar.2016. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 10 de maio de 2021.

BURNS, C. et al. The economics of biochar production: a review. **Nevada: University of Nevada**, 2014.

BUTNAN, S.; DEENIK, J. L.; TOOMSAN, B.; ANTAL, M. J.; VITYAKONA, P. Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. **Geoderma**, v.237, p.105-116, 2015.

CALEGARI, A. **Plantas de cobertura**. Projeto Solo Vivo. 3. ed. Uberaba - MG: WEBBIO Academy, 2018. 30 p. (Manual Técnico).

CALEGARI, A. **Diversificação de sistemas produtivos através do uso adequado de plantas de cobertura, rotação de culturas no sistema de plantio direto**. Fundação Agrisus – Agricultura Sustentável, 2012b. 15p. (Fundação Agrisus Agricultura Sustentável, Artigo 4).

CASTEEL, S. N. **Estimating Soybean Yields – Simplified**, University of Purdue - Soybean Station. 2014.

COOPER, J. et al. Shallow non-inversion tillage inorganic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 22. 2016. COTRISOJA. Saiba a Importância da Inoculação e da Coinoculação. Disponível em: Acesso em: 10 de maio, 2021.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília: Conab, v.5, n.5, 2018, 140p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília: Conab, v.4, n.2, 2017.

CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento. **Compêndio de Estudos Conab**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/imprensanoticia.phpid=43044> [28/07/2017]. 2016.

CORRÊA, A.L.; ABBOUD, A.C.S.; GUERRA, J.G.M.; DE AGUIAR, L.A.; RIBEIRO, R.L.D. Adubação verde com crotalária consorciada ao minimilho antecedendo a couve-folha sob manejo orgânico. **Revista Ceres**, v. 61, n. 6, p. 956, 2014.

CREMONEZ, P.A., et al. Nabo forrageiro: do cultivo a produção de biodiesel. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.2, n.2, p. 64-72, 2013.

CRUZ, C. D. Programa GENES: estatística experimental e matrizes. Editora UFV, Viçosa,

2006. 285 p.

DEMISIE, W.; LIU, Z.; ZHANG, M. Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. **Catena**, v. 121, p. 214-221, 2014.

DU Z., WANG, Y., HUANG, J., LU, N., LIU, X., LOU, Y., ZHANG, Q. Consecutive biochar application alters soil enzyme activities in the winter wheat-growing season. **Soil. Sci.** 2014; 179 (2): 75– 83.

DUARTE, I.N.; SOUSA, R.T.X.; KORNDORFER, G.H.; FONTOURA, P.R.; SOARES, R.A.B. Biotita: fonte de potássio para agricultura. **Biosci J.** 2012; 28:98-103.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 2018. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 3.ed. Brasília, D.F. Embrapa: 2017. 573p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 p. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 206). Disponível em: [www.bdpa.cnptia.embrapa.br](http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br). Acesso em 12 de maio de 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária, 2ª Edição, Editor Técnico Fábio César da Silva. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional**. (2019). Disponível em: <<https://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 22 de abril de 2021.

FERREIRA, A.O.; AMADO, T.J.C.; RICE, C.W.; DIAZ, D.A.R.; BRIEDIS, C.; INAGAKI, T.M.; GONÇALVES, D.R.P. 2018. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. **Science of the Total Environment** 622-623: 735-742.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) 2016. Disponível em: <http://www.fao.org.br/download/PA20142015CB.pdf> f [28/07/2017]. 2015. Acesso em 10 de março de 2021.

GAO, S.; HOFFMAN-KRULL, K.; BIDWELL, A. L.; DELUCA, T. H. (2016). Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. 233:43-54.

GODOY, R.; SANTOS, P. M. Cajanus cajan. In: FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. p. 294-309.

GOMES, J. C. C.; ASSIS, W. S. de. (Eds.). (2013). **Agroecologia: Princípios e reflexões conceituais**. Coleção Transição Agroecológica (p. 245). Brasília, DF. Embrapa.

GONÇALVES, J. G. R. et al. Análise da capacidade combinatória em feijoeiro comum submetido ao déficit hídrico. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p.149-155, 2015.

GUERRA, J.G.M.; ESPINDOLA, J.A.A.; ARAÚJO, E. da S.; LEAL, M.A. de A.; UZÊDA, M.C.; RICCI, M.S.F.; ZONTA, E.; RIBEIRO, R. de L.D.; ALMEIDA, D.L. **Manejo da fertilidade do solo na agricultura orgânica**. In: FREIRE, L.R.; BALIEIRO, F. de C.; ZONTA, E.; ANJOS, L.H.C dos. PEREIRA, M.G.; LIMA, E.; GUERRA, J.G.M.; FERREIRA, M.B.C., LEAL, M.A. de A.; CAMPOS, D.V.B.; POLIDORO, J.C. (Ed) Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF: Embrapa; Seropédica, RJ: Universidade Rural, 2013. cap. 9, p. 189-196.

HERNANI, L. C. Sistema Plantio Direto: **Nabo forrageiro**. Embrapa, 2012. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema\\_plantio\\_direto/arvore/CONT000fh2b6jui02wyiv80rn0etn7qovcch.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/sistema_plantio_direto/arvore/CONT000fh2b6jui02wyiv80rn0etn7qovcch.html)>. Acesso em: 27/04/2021.

HERNANI, L. C.; PADOVAN, M. P. Adubação verde na recuperação de solos degradados. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. v. 1. Brasília: **Embrapa**, 2014. p. 371- 398.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2016**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2016>>. Acesso em: 27 abril de 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Summary for Policymakers**. In: INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2014: mitigation of climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 2108 p. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>>. Acesso em: 10 maio de 2021.

KNABBEN, V. M. Ana Maria Primavesi, histórias de vida e agroecologia. São Paulo: **Expressão Popular**, 2016. 488 p.

KOOKANA, R. S., SARMAH, A. K., VAN ZWIETEN, L., KRULL, E.; SINGH, B. (2011). **Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences Advances**. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*, (pp 103-143). Burlington: Academic Press.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con um estudio de los climas de la tierra**. México: FCE, 1948. 487 p.

LAMBAIS, M.R.2006 Unraveling the signaling and signal transduction mechanisms controlling arbuscular mycorrhiza development. **Scientia Agricola**. v.63, n.4, p. 405-413.

LEITE, M. H. S. **Interações entre adubos verdes e fósforo natural na ciclagem de nutrientes do solo para produção de milho na agricultura familiar**. 2018. 132 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical da Faculdade de Agronomia e Zootecnia da Universidade Federal de Mato Grosso.

- LIMA, S. L.; TAMIOZZO, S.; PALOMINO, E.C.;PETTER, F. A.; MARIMONJUNIOR, B. H. Interactions of biochar and organic compound for seedlings production of *Magonia pubescens* A. **St. Hi. Árvore**, v.39, p. 655-661. 2015.
- LIU, J.; SCHULZ, H.; BRANDL, S.; MIEHTKE, H.; HUWE, B.; GLASER, B. Short-term effect of biochar and compost on soil fertility and water status of a Dystric Cambisol in NE Germany under field conditions. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, p. 698-707, 2012.
- LONE, A.H.; NAJAR, G.R.; GANIE, M.A.; SOFI, J.A.; TAHIR, A.L.I.T. (2015) Biochar for sustainable soil health: a review of prospects and concerns. **Pedosphere**. 25: (5) 639–653.
- MADARI, B. E. et al. **Carvão vegetal como condicionador do solo para arroz de terras altas (cultivar Primavera): um estudo prospectivo**. Comunicado técnico Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, v. 125, p. 6, 2006.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MELO, V.F.; UCHÔA, S.C.P.; DIAS, F.U.; BARBOSA, G.F. Doses de basalto nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo Distrófico da Savana de Roraima. **Acta Amazônica**, 42: 471-476, 2012.
- MÉNDEZ, A.; TERRADILLOS, M.; GASCÓ G. (2013) Physicochemical and agronomic properties of biochar from sewage sludge pyrolysed at different temperatures. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 102:124-130.
- MINGUETTI, F. F. **Influência dos sistemas de produção, convencional e orgânico, na qualidade da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e do açúcar mascavo**. 2012. 89 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados nos desempenhos das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: Abrates, 1999. p. 2-24.
- NICHOLS, V.; VERHULST, N.; COX, R.; GOVAERTS, B. Weed dynamics and conservation agriculture principles: A review. **Field Crop Res**. 183: 56–68, 2015.
- NOVAK, J. M.; CANTRELL, K. B.; WATTS, D. W.; BUSSCHER, W. J.; JOHNSON, M. G. Designing relevant biochars as soil amendments using lignocellulosic-based and manure-based feedstocks. **Journal of Soils and Sediments**, v. 14, p. 330–343, 2014.
- NUNES, E. N.; FERNANDES, Y. T. D.; MONTENEGRO, I. N. de A.; ALVES, C. A. B.; SOUTO, J. S. Eficiência da translocação de nutrientes em plantas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró – RN - BRASIL, 14 dez. 2013. v. 8, n. 5, p. 90 - 95, (Edição Especial).
- NUNES, J. M. G.; RODRIGUES, C. O.; KAUTZMANN, R. M. **Caracterização de resíduos e produtos da britagem de rochas basálticas e avaliação da aplicação na rochagem**.

Canoas: Centro Universitário LaSalle Unilasalle, Mestrado de Avaliação de Impactos Ambientais, 2012.

OLIVEIRA, M. A.; ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; FERREIRA, A.S.; DOMINGUES, A. R.; SPOLAOR, L. T. Componentes de Produção e Produtividade do Milho em Resposta a Doses de Fósforo e Inoculação com *Pseudomonas fluorescens*. **XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO** - Águas de Lindóia - 26 a 30 de Agosto de 2012.

OMIL, B.; PIÑEIRO, V.; MERINO, A. Soil and tree responses to the application of wood ash containing charcoal in two soils with contrasting properties. **Forest Ecology and Management**, v. 295, p.199–212. 2013.

PANTANO, G.; GROSSELI, GM; MOZETO, AA; FADINI, PS Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. *Química Nova*, v. 39, n. 6, pág. 732-740, 2016.

PARK, S. et al. Association between dietary behaviors and attention-deficit/hyperactivity disorder and learning disabilities in school-aged children. **Psychiatry Res.** 2012.198 (3): 468–476.

PAZ-FERREIRO, J.; L, H.; F, S.; MÉNDEZ, A.; GASCÓ, G. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. **Solid Earth**, v.5, p.65-75, 2014.

PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D.; GRZESIUCK. A, E. Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 32-42, 2014.

PETTER, F. A.; MADARI, B. E.; SILVA, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; CARVALHO, M. T.; MARIMON JR, B. H.; PACHECO, L. P. Soil fertility and upland rice yield after biochar application in the Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 47, n. 5, p. 699-706. 2012.

PINHEIRO, D.P.; LIMA, EV; FERNANDES, A.R.; SANTOS, W.M.; LEITÃO-LIMA, O. S. Productivity of Marandu grass as a function of liming and phosphate fertilization in a Typic Hapludult from Amazonia. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian. Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, p. 49-56, 2014.

PITTELKOW, C.M., LIANG, X., LINQUIST, B.A., VAN GROENIGEN, K.J., LEE, J., LUNDY, M.E., VAN GESTEL, N., SIX, J., VENTEREA, R.T., VAN KESSEL, C. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature** 517, 365–368. 2015.

PROTÁSIO, T. P. **Biomassa residual do coco babaçu: potencial de uso bioenergético nas regiões norte e nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras - Lavras, 2014.

PUGA, A. P. **Biocarvão na mitigação da toxicidade de metais pesados em solos de área de mineração**. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, SP, 2015.

RABELO, A.C.R.; RIBEIRO, D.F.; REZENDE, R.M. ALCANTRA, E.; SOARES, A.F. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 5, n. 1, p. 825-841, 2017.

REN, X.; ZHANG, P.; ZHAO, L.; SUN, H. Sorption and degradation of carbaryl in soils amended with biochars: influence of biochar type and content. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 3, p. 2724-2734, 2016.

REIS, ARS; REIS, JSF; SILVA, JR; CARVALHO, JC; SOUZA, DV; REIS, LP. Comparação entre carvão de coco babaçu e carvão de resíduos madeireiros comercializados em Altamira - PA. **Ciência da Madeira**, v.6, n.2, p.100-106, 2015.

RODRIGUES, A. F. de A. **Avaliação agronômica de genótipos de feijoeiro comum, do grupo roxo, no inverno, em uberlândia – MG**. Dissertação (mestrado). Uberlândia/Minas Gerais. 2017.

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional do semiárido. **Rev. Ciênc. Agron.** 47: 429-438. (2016).

SANTOS, R. P. **Análise da utilização de resíduos sólidos de marmoraria em consórcio com macrófitas aquáticas na recuperação de áreas degradadas por mineração de argila vermelha**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais – PPGECAM. Caxias do Sul/RS. 2017.

SANTOS, I. C.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W. **Adubação verde no cultivo de hortaliças**. Circular Técnica, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, v. 1, n. 179, p. 1-6, 2013.

SCHULZ, H. DUNST, G.; GLASER, B. **Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility**. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, v. 33, n 4, p. 817-827, 2013.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. **Florestas do Brasil em resumo - 2013: dados de 2007-2012**, Brasília, 188p., 2013.

SOHI, S. P. Carbon storage with benefits. **Science**, v.338, p.1034-1035, 2012.

SILVA, I; BASÍLIO, J.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; SAMPAIO, R.; FRAZÃO, L. Biochar from different residues on soil properties and common bean production. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 5, p. 378–382, 2017.

SILVA, M. I.; CHERYL, M.; MINOGUE, P.; FERREIRA, A. R.; da VEIGA, M.; EDERLON, F. Potential impacts of using sewage sludge biochar on the growth of plant forest seedlings. **Ciência Rural**, v.47 n.1, p.1-6, Santa Maria. 2017.

SILVA, S.M.; OLIVEIRA, L.J.; FARIA, F.P.; REIS, E.F.; CARNEIRO, M.A.C.; SILVA, S.M. Atividade da enzima nitrato redutase em milho cultivado sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e potássica. **Ciência Rural**, v.41, n.11, p.1931-1937, 2011.

SILVA, S. A., MORAES, W. B.; SOUZA, G. S. Doses de cálcio no crescimento do feijoeiro cultivado em solução nutritiva, na presença de alumínio. **Idesia**, v. 29, n. 3, p. 53-58, 2011.

SILVA, J.; CASALINHO, H.; LIMA, A.; SCHWENGBER, J. Sistemas de manejo em transição agroecológica: coerências e contradições na prática cotidiana de agricultores familiares. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 9, n. 2, p. 98-113, 2014.

SOUZA SILVA, A. P. F.; COSTA, M. C.; LOPES, A. C.; NETO, E. F. A.; LEITÃO, R. C.; MOTA, C. R.; SANTOS, A. B. Comparison of pretreatment methods for lipids extraction from mixed microalgae. **Renewable Energy**, v. 63, p. 762-766. 2014.

STEINER, C.; TEIXEIRA, W. G.; ZECH, W. Slash and char: an alternative to slash and burn practiced in the Amazon basin. In: GLASER, B. B. E WOODS, W. I. (Ed.). Amazonian dark earths: explorations in space and time. Berlin: **Springer Verlag**, 2004. p. 183-194.

TAN, C.; YAXIN, Z.; HONGTAO, W.; WENJING, L.; ZEYU, Z.; YUANCHENG, Z.; LULU, R. Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. **Bioresource Technology**, v.164, p.47-54, 2014.

TAVARES, M.F.F.; HABERLI, J. C. **O mercado de fertilizantes no Brasil e as influências mundiais**. São Paulo: Escola Superior de Propaganda e Marketing; 2011.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO C. & QUARESMA, M. A. L. Aspectos Agronômicos de Leguminosas para Adubação Verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **R. Bras. Ci. Solo**, 35:635-643, 2011.

TIECHER, T. **Práticas alternativas de manejo visando a conservação do solo e da água**. Porto Alegre, Rs: UFRGS, 2016a.

TRAZZI, P. A., **Uso do biocarvão na produção de mudas e no crescimento inicial de *Pinus taeda* L.** 117 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. 117. Paraná, PR, 2014.

TANG, Y.; ZHAO, D.; CRISTHIAN, C.; JIANG, J. Simultaneous saccharification and cofermentation of lignocellulosic residues from commercial furfural production and corn kernels using different nutrient media. **Biotechnology for Biofuels**, v. 4, 2011.

VOGT, G. A.; BACKES, L. R.; GALLOTTI, M. J. G.; SOUZA, M. J., SAGAZ, M. A.; MEISTER, P. D. P.; MEISTER, A. L.; Produtividade de variedades locais de feijão em diferentes doses de cama de aviário e pó de basalto. **Cadernos de Agroecologia**, v.8, n. 2, 2013.

WEB OF SCIENCE. **“Biochar”**. Disponível em: <[https://www. webofknowledge .com/](https://www.webofknowledge.com/)>. Acesso em: 11 de maio de 2021.

WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. **Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso**. In: LIMA FILHO, O. F. de; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Ed.). *Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1, p. 59-167.

YANG, X.; MENG, J.; LAN, Y.; CHEN, W.; YANG, T.; YUAN, J.; LIU, S.; HAN, J. Effects of maize stover and its biochar on soil CO<sub>2</sub> emissions and labile organic carbon fractions in Northeast China. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 240, p. 24-31, 2017.

ZANDONADI, D. B.; SANTOS, M. P.; MEDICI, L. O.; SILVA, J. **Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças**. *Horticultura*. Brasileira. [online]. 2014, vol.32, n.1, pp.14-20. ISSN 0102-0536. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100003>>. Acesso em: 15/03/2021.

ZHAO, X.; WANG, J.; WANG, S.; XING, G. Successive straw biochar application as a strategy to sequester carbon and improve fertility: A pot experiment with two rice/wheat rotations in paddy soil. **Plant Soil**, v. 378, p. 279–294, 2014.

## ANEXOS

Anexo 01: Pó de rocha (basalto) (A) oriundo da empresa Ekosolos Ind. Remineralizadora Ltda e biocarvão (B) oriundo da empresa TecnoCarbo Ltda. Fonte: Elaborado pela autora.



Anexo 02: Coleta de amostras de plantas de feijoeiro *Phaseolus vulgaris* L., em estágio reprodutivo 6 (R6), submetidas a condições de campo, para análises. Fonte: Elaborado pela autora.



Anexo 03: Resultados das análises de variância do experimento em casa de vegetação. Fonte: Elaborado pela autora.

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - pH

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.12046	11.08866 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	1.94688	13.55971 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.57867	15.08301 ns

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - MO

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.0461	38.14196 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	11.44344	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	3.15311	.49375 **

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CARB

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.04565	38.1612 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	11.44386	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	3.14176	.50604 **

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - P

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	72.11594	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	3.68556	1.86195 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	3.26169	.39035 **

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - K

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	70.91673	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	14.23684	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	5.61473	.00352 **

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - Ca

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	4.58748	.6925 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	4.30771	.93788 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.80725	1.04927 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - Mg

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.41075	25.20028 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	6.34001	.11131 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	.76177	100.0 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - Al

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	7.1516	.04968 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	9.82302	.00391 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.27256	3.39461 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - HAI

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	9.0441	.00815 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	12.2617	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.00628	6.07237 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - SB

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	12.84051	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	4.02525	1.27801 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.59441	1.67368 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CTC

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.99234	12.86356 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	17.9069	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	4.80246	.01447 **

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - BV

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	14.35025	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	5.12414	.3905 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.3057	26.08033 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - AIM

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	13.97744	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	12.3953	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.87801	8.01184 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - PCa

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	5.06991	.41356 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	7.92752	.02344 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.32107	25.31536 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - PMg

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	.5885	100.0 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	6.24215	.12288 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.23944	29.59912 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - PK

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	76.64162	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	11.49869	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	5.52025	.0042 **

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CaMg

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.82374	4.93041 *
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.96763	4.18333 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.21103	31.21994 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CaK

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	163.78294	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	26.05834	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	22.67493	.0 **

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - MgK

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	119.98836	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	18.37584	.0 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	17.00658	.0 **

Anexo 04: Resultados das análises de variância do experimento de campo. Fonte: Elaborado pela autora.

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - pH

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.94939	13.52022 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	3.3038	2.85708 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	5.2616	.00682 **

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - MO

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.38912	25.8337 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	4.04892	1.24515 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.06367	40.72912 ns

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CARB

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.3928	25.72492 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	4.08749	1.19345 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.05974	41.00768 ns

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - P

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	19.61774	.0 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	8.32765	.01601 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	4.85942	.01273 **

RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - K

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	3.50175	2.2867 *
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.69647	5.70452 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.46029	2.24747 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - Ca

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.08859	36.36504 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	3.47432	2.35816 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.36863	2.74904 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - Mg

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.96254	13.31572 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	.62326	100.0 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.12808	36.34589 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - Al

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.84421	15.27332 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	1.07749	36.82195 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	4.36125	.03759 **

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - HAI

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	4.30698	.93863 **
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.02167	12.43363 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.26527	3.44929 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - SB

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.18382	10.30406 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	3.36955	2.65295 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.69369	1.34585 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CTC

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.13932	10.84905 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	.27739	100.0 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.31684	3.08023 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - BASESV

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.03326	12.26777 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.3954	8.06788 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.01884	5.90905 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - AIM

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	3.44155	2.44654 *
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	1.64886	19.15027 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	3.14521	.50228 **

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - PCa

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	1.06509	37.33841 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.5151	7.02748 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.72352	11.1396 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - PMg

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.42776	7.77203 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	.47205	100.0 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.21944	30.73287 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - PK

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	3.78663	1.66393 *
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.87105	4.67076 *
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.55459	1.82675 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CaMg

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	.81564	100.0 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	5.05814	.41874 **
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	1.89933	7.65268 ns

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - CaK

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.09849	11.37452 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.15632	10.63748 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.45049	2.29641 *

## RESULTADO DAS ANÁLISES INDIVIDUAIS - MgK

Teste de Hipótese					
FV	TESTE	GL NUM	GL DEN	F	PROBABILIDADE(%)
Tratamento	QMG/QMR	3	45	2.53394	6.87664 ns
Ambiente	QMA/QMR	3.	45.	2.47366	7.37128 ns
Trat x Amb	QMGA/QMR	9	45	2.65336	1.47043 *