

**FERNANDA DE PAULA MEDEIROS**

**BIOPROCESSOS PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DE PÓS DE ROCHA NA  
AGRICULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Irene Maria Cardoso

Coorientador: André Mundstock Xavier de  
Carvalho

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

M488b  
2022 Medeiros, Fernanda de Paula, 1987-  
Bioprocessos para otimização do uso de pós de rocha na  
agricultura / Fernanda de Paula Medeiros. – Viçosa, MG, 2022.  
1 tese eletrônica (178 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexo.

Orientador: Irene Maria Cardoso.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Solos, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.376>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Adubos e fertilizantes orgânicos. 2. Café - Cultivo.  
3. Agrossilvicultura. 4. Rochas. 5. Gnaisse. 6. Pedra-sabão.  
I. Cardoso, Irene Maria, 1959-. II. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em  
Solos e Nutrição de Plantas. III. Título.

CDD 22. ed. 631.86

Bibliotecário(a) responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB 6/3317

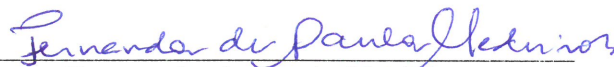
FERNANDA DE PAULA MEDEIROS

BIOPROCESSOS PARA OTIMIZAÇÃO DO USO DE PÓS DE ROCHA NA  
AGRICULTURA

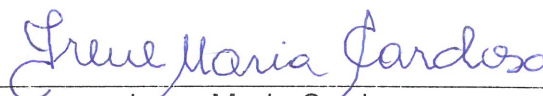
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 28 de março de 2022.

Assentimento:



Fernanda de Paula Medeiros  
Autora



Irene Maria Cardoso  
Orientadora

Dedico,

Ao meu avô Pedro, que me mostrou a natureza (*in memoriam*) e os cuidados da terra. À minha mãe, pelo amor incondicional.

Aos/as agricultores/as agroecológicos/as e suas famílias.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à força divina que me guia e apoia em suas diversas manifestações e mistérios. Gratidão à minha família pelo apoio em minhas aspirações de vida, ao respeito e amor, sentimentos que sempre estiveram presentes em nossa casa. À minha mãe lara, que me ensina a lutar dia a dia, sempre forte, mas sem perder a doçura.

À professora Irene Cardoso, pela orientação da tese e por todo o aprendizado que tive ao lado dela. Minha grande admiração pela garra e por toda a sua história, exemplo de dedicação e entrega ao movimento agroecológico.

Ao professor André Mundstock pela coorientação da tese, por todo o suporte, amizade e paciência. Agradeço por todo estímulo, respeito e disponibilidade em ensinar e colaborar com a pesquisa.

Ao Departamento de Solos e aos professores pelas disciplinas ministradas e aprendizados. Agradeço ao professor Teógenes e à laboratorista Paloma, pelo total apoio nas análises no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos da UFV. Aos amigos de laboratório, que se tornaram uma grande família pra mim.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, durante todo o período do doutorado, bem como pela experiência internacional na Universidade de Wageningen, na Holanda, proporcionado pelo edital Print. Essa oportunidade foi grandiosa para minha carreira e para planos futuros. Agradeço ainda o professor Thom Kuyper por todo o suporte durante o meu período na Holanda. Gratidão imensa ao Arne e à Irene por terem me recebido carinhosamente em sua casa, e total suporte durante o período que estive no exterior. Agradeço ao projeto FOREFRONT a contribuição financeira com a pesquisa.

Imensa gratidão ao movimento agroecológico e todas as famílias de agricultoras e agricultores agroecológicos que tive a honra de conhecer e aprender junto. Agradeço a todo o acolhimento, respeito e ao amor compartilhado. Minha grande admiração a todos vocês, incansáveis na preservação de suas próprias raízes e à natureza. Vocês são inspiradores.

Aos companheiros de departamento e todas as amigas queridas de Viçosa.

Agradeço à força divina que me guia e apoia em suas diversas manifestações e mistérios.

Gratidão à minha família pelo apoio em minhas aspirações de vida, ao respeito e amor, sentimentos que sempre estiveram presentes em nossa casa. À minha mãe lara, que me ensina a lutar dia a dia, sempre forte, mas sem perder a doçura.

À professora Irene Cardoso, pela orientação da tese e por todo o aprendizado que tive ao lado dela. Minha grande admiração pela garra e por toda a sua história, exemplo de dedicação e entrega ao movimento agroecológico.

Ao professor André Mundstock pela coorientação da tese, por todo o suporte, amizade e paciência. Agradeço por todo estímulo, respeito e disponibilidade em ensinar e colaborar com a pesquisa.

Ao Departamento de Solos e aos professores pelas disciplinas ministradas e aprendizados. Agradeço ao professor Teógenes e à laboratorista Paloma, pelo total apoio nas análises no Laboratório de Matéria Orgânica e Resíduos da UFV. Aos amigos de laboratório, que se tornaram uma grande família pra mim.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, durante todo o período do doutorado, bem como pela experiência internacional na Universidade de Wageningen, na Holanda, proporcionado pelo edital Print. Essa oportunidade foi grandiosa para minha carreira e para planos futuros. Agradeço ainda o professor Thom Kuyper por todo o suporte durante o meu período na Holanda. Gratidão imensa ao Arne e à Irene por terem me recebido carinhosamente em sua casa, e total suporte durante o período que estive no exterior. Agradeço ao projeto FOREFRONT a contribuição financeira com a pesquisa.

Imensa gratidão ao movimento agroecológico e todas as famílias de agricultoras e agricultores agroecológicos que tive a honra de conhecer e aprender junto. Agradeço a todo o acolhimento, respeito e ao amor compartilhado. Minha grande admiração a todos vocês, incansáveis na preservação de suas próprias raízes e à natureza. Vocês são inspiradores.

Aos companheiros de departamento e todas as amigas queridas de Viçosa.

## **BIOGRAFIA**

FERNANDA DE PAULA MEDEIROS, filha de Iara Cavalcante de Paula, neta de Luzia Figueiredo Cavalcante e Pedro Xavier de Paula, nasceu em 28 de janeiro de 1987, em Brasília, Distrito Federal.

Iniciou os estudos cursando Engenharia Ambiental na Universidade Católica de Brasília, onde cursou até o 6º semestre. Por afinidade e chamado do coração para estudar os processos da natureza, mudou de curso e graduou-se em Engenharia Florestal, na Universidade de Brasília, em julho de 2014.

Em março de 2015 iniciou mestrado no programa Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural da Universidade de Brasília e concluiu em fevereiro de 2017.

Em julho de 2017 iniciou curso de doutorado no programa de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa e finalizou em março de 2022.

## RESUMO

MEDEIROS, Fernanda Paula de, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2022. **Bioprocessos para a otimização de pós de rocha utilizados na agricultura.** Orientadora: Irene Maria Cardoso. Coorientador: André Mundstock Xavier de Carvalho.

No Brasil é frequente a busca de alternativas ao uso de fertilizantes que sejam mais sustentáveis, acessíveis localmente e financeiramente viáveis, como os pós de rocha. Esta tecnologia é permitida pela legislação brasileira, inclusive para uso na agricultura orgânica. Porém, essa tecnologia ainda é pouco conhecida. As diversas formas de utilização e as técnicas mais eficientes que aceleram a disponibilização de nutrientes dos minerais dos pós de rochas precisam ser melhor estudadas. A disponibilização de nutrientes presentes nos minerais pode ser acelerada a partir da associação do uso dos pós de rochas com tecnologias que potencializam a atividade dos organismos, a exemplo da vermicompostagem e dos sistemas biodiversos, a exemplo dos sistemas agroflorestais. Muitos pós de rocha são acessíveis aos agricultores, mas para que eles sejam utilizados é preciso conhecer seus potenciais e riscos, a exemplo da presença de metais pesados. O objetivo geral da pesquisa foi avaliar o potencial nutricional de pós de rocha para a produção de café (*Coffea arabica*) orgânico. Os objetivos específicos foram: i) sistematizar as informações relativas ao uso dos pós de rocha por agricultores familiares em sistemas agroflorestais; ii) avaliar o crescimento de mudas de café adubadas com substratos preparado com pós de rocha de gnaiss e esteatito; iii) avaliar os teores nutrientes e a bioacumulação de metais pesados e elementos potencialmente tóxicos em mudas de café adubadas com pós de rocha de gnaiss e esteatito; iv) avaliar a qualidade química, microbiológica e bioquímica do solo e a produção de café, cultivado em sistema agroflorestal fertilizado com pó de gnaiss e; v) avaliar as qualidades físico-química do solo e da bebida do café cultivado em sistema agroflorestal fertilizado com pó de gnaiss. No primeiro capítulo as iniciativas de uso de pós de rocha pelos agricultores familiares em transição agroecológica na Zona Mata mineira foram identificadas e analisadas. Objetivou-se identificar as principais técnicas, as principais impressões e aprendizados e os principais desafios na utilização dos pós de rocha e; novas perguntas de pesquisa sobre o uso dos pós de rocha. As informações foram



adquiridas em rodas de conversa e diálogos sobre a temática dos pós de rochas em eventos agroecológicos, tais como a Troca de Saberes, Intercâmbios Agroecológicos, Mutirões nas propriedades rurais e uma pesquisa participativa com uso de pó de rocha, desenvolvida com agricultores/as. Os eventos agroecológicos contribuíram para visibilizar o reconhecimento dos saberes daqueles que lidam com a terra e sobre a importância da tecnologia da rochagem, como forma de melhorar a qualidade do solo. Esses eventos foram úteis também para apontar novos caminhos de pesquisa. No segundo capítulo, avaliou-se o crescimento das mudas de café fertilizadas com substratos produzidos a partir de uso de pó de gnaiss e esteatito adicionados a processo de vermicompostagem; a capacidade do processo de vermicompostagem em potencializar a liberação de nutrientes desses pós de rochas para o desenvolvimento das mudas e; a absorção pelas plantas dos metais pesados presentes nos pós de rocha. Os estudos foram conduzidos em casa de vegetação, através do desenvolvimento, por seis meses, de mudas de café fertilizadas com substratos produzidos com pós de gnaiss e esteatito vermicompostados. Parâmetros de desenvolvimento das plantas, teores de macro e micronutrientes e metais pesados no substrato e nas folhas das plantas ao final do experimento. As plantas se desenvolveram melhor nos tratamentos com pós de gnaiss e esteatito. No solo, com a aplicação dos pós de rocha, houve aumento do pH, da soma de bases e da CTC. As concentrações de metais pesados Ni, Cd, Cr e Pb no substrato foram abaixo dos valores estabelecidos pela legislação brasileira. O pó de gnaiss vermicompostado apresentou potencial para ser utilizado na agricultura, pois promoveu melhorias nas características químicas do solo. O uso do pó de esteatito, devido à presença de alguns metais pesados, em especial o Ni e o Cr na rocha, requer cuidados, mas quando vermicompostado pode ser indicado para produção de mudas perenes que não tenha finalidade de produção de alimentos. No terceiro capítulo analisou-se a disponibilização de nutrientes e a adição de metais pesado advindos de pó de gnaiss para o solo cultivado com cafeeiro agroecológico, em sistema agroflorestal ou a pleno sol e; o efeito do pó de gnaiss na qualidade físico-química e sensorial do café. O estudo foi conduzido em três propriedades agroecológicas de agricultura familiar, no município de Divino, Minas Gerais. As análises realizadas para avaliar a qualidade do solo foram umidade, respiração e carbono da biomassa microbiana e análise enzimática da  $\beta$ -glicosidase. Para avaliação da qualidade do café, características físicas e bioquímicas tais como densidade dos grãos, condutividade elétrica, pH,

acidez total titulável foram realizadas. A qualidade sensorial da bebida do café também foi avaliada. Os sistemas agroflorestais potencializaram os efeitos do pó de gnaiss na liberação de K, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, além de micronutrientes como Cu e Zn e melhoraram a umidade do solo. Ademais, não houve, em geral, aumento de metais pesados, como Cd, Pb e Cr no solo. Em relação ao sistema a pleno sol, nos sistemas agroflorestais a respiração microbiana foi maior e, em um dos sistemas, a β-glicosidase foi também maior. Nos sistemas agroflorestais, os grãos de café apresentaram maior densidade e menor condutividade elétrica, indicando a produção de grãos com menor quantidade de defeitos, indicando, portanto, grãos de melhor qualidade. Os valores de acidez total titulável ficaram dentro dos níveis encontrados na literatura e podem ser considerados como palatáveis. A análise sensorial indicou que o manejo agroecológico melhorou a qualidade sensorial da bebida, pois os cafés, mesmo a pleno sol, produzidos em duas propriedades alcançaram notas acima de 80, classificados como cafés especiais. Há evidências de que os SAFs associados com pós de rocha contribuem com a produção de cafés de qualidade. Em uma propriedade, os cafés receberam notas em torno de 60, exceto o SAF que recebeu pó de rocha, que recebeu nota maior que 80. De forma geral, os processos biológicos, associados aos tipos de manejo agroecológicos utilizados contribuíram para melhorar as qualidades do solo e do café. Entretanto, nos sistemas agroflorestais, com maior biodiversidade que o cafezal a pleno sol, os processos biológicos contribuíram mais com a disponibilização de nutrientes do pó de rocha para as plantas.

Palavras-chave: Agrofloresta. Café. Agroecologia. Agrominerais. Gnaiss. Esteatito.

## ABSTRACT

MEDEIROS, Fernanda Paula de D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March 2022. **Bioprocesses for the optimization of rock powders used in agriculture.** Advisor: Irene Maria Cardoso. Co-Advisor: André Mundstock Xavier de Carvalho.

In Brazil there is a frequent search for alternatives to the use of fertilizers that are more sustainable, locally accessible, and financially viable, such as rock powder. This technology is allowed by Brazilian legislation, including for use in organic agriculture. However, this technology is still little known. The various forms of use and the most efficient techniques that accelerate the availability of nutrients from rock powder minerals need to be better studied. The availability of nutrients present in minerals can be accelerated by associating the use of rock powders with technologies that enhance the activity of organisms, such as vermicomposting and biodiverse systems, such as agroforestry systems. Many rock powders are accessible to farmers, but for them to be used it is necessary to know their potentials and richness, for example the presence of heavy metals. The general objective of the research was to evaluate the nutritional potential of rock powder for organic coffee (*Coffea arabica*) production. The specific objectives were: (i) systematize the information regarding the use of rock powders by family farmers in agroforestry systems (SAFs); (ii) evaluate the growth of coffee seedlings fertilized with substrates prepared with gneiss and steatite rock powders; (iii) evaluate the nutrient contents and bioaccumulation of heavy metals and potentially toxic elements in coffee seedlings fertilized with gneiss and steatite rock powders; iv) to evaluate the chemical, microbiological and biochemical quality of the soil and the production of coffee, cultivated in agroforestry system fertilized with gneiss powders and; v) to evaluate the physical-chemical quality of the soil and the beverage of coffee cultivated in agroforestry system fertilized with gneiss dust. In the first the initiatives of use of rock powder by family farmers in agroecological transition in the Zona Mata region of Minas Gerais were identified. The aims were to identify the main techniques, the main impressions and learnings and the main challenges in the use of rock powder and; new research questions about the use of rock powder. The information was acquired in conversation wheels and dialogues on the theme of rock powders in agroecological events, such as the Exchange of Knowledge, Agroecological Exchanges, Mutirões on farms and participatory research with the use of rock powder,

developed with farmers, which occurred in the region. The agroecological events contributed to make visible the recognition of the knowledge of those who deal with the land and the importance of the rock technology as a way to improve soil quality. These events were also useful in pointing out new research paths. In the second chapter, we evaluated the growth of coffee seedlings fertilized with substrates produced from the use of gneiss and steatite powder added to the vermicomposting process; the ability of the vermicomposting process to enhance the release of nutrients from these rock powders for seedling development and; the absorption by plants of heavy metals present in the rock powders. The studies were conducted in a greenhouse, through the development, for six months, of coffee seedlings fertilized with substrates produced with vermicomposted gneiss and steatite powders. Parameters of plant development, macro and micronutrient contents and heavy metals in the substrate and plant leaves at the end of the experiment. The plants grew better in the treatments with gneiss and steatite powders. In the soil, with the application of rock powder, there was an increase in pH, base sum and CEC. The concentrations of heavy metals Ni, Cd, Cr and Pb in the substrate were below the values established by Brazilian legislation. The vermicomposted gneiss powder presented potential to be used in agriculture, because it promoted improvements in the chemical characteristics of the soil. The use of steatite powder, due to the presence of some heavy metals, especially Ni and Cr in the rock, requires care, but when vermicomposted it can be indicated for the production of perennial seedlings not intended for food production. The third chapter analyzed the availability of nutrients and addition of heavy metal from gneiss powder to the soil cultivated with agroecological coffee trees, in agroforestry or full sun systems, and the effect of gneiss powder on the physical-chemical and sensorial quality of coffee. The study was conducted in three agroecological family farms in the municipality of Divino, Minas Gerais. The soil quality was evaluated. Moisture, respiration and carbon of microbial biomass, and enzymatic analysis of  $\beta$ -glucosidase were analyzed. To evaluate the quality of the coffee, physical, biochemical characteristics such as bean density, electrical conductivity, pH, total titratable acidity were analyzed. Sensorial quality of coffee beverage was also evaluated. The agroforestry systems enhanced the effects of gneiss powder in the release of K,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$ , besides micronutrients such as Cu and Zn, and improved soil moisture. Moreover, in general, heavy metal, such as Cd, Pb e Cr, did not increase in the soil. Compared to the full sun system, in the agroforestry systems microbial respiration was higher and, in one of the systems,

$\beta$ -glucosidase was also higher. In the agroforestry systems, the coffee beans presented higher density and lower electrical conductivity, indicating the production of beans with fewer defects, therefore indicating better quality beans. The total titratable acidity values were within the levels found in the literature and can be considered palatable. The sensorial analysis indicated that the agro-ecological management improved the sensorial quality of the beverage, since the coffee beverages, even under full sun, were graded above 80 (in two properties), and, therefore, the coffee was classified as special. There is evidence that the SAFs associated with rock powder contribute to the production of quality coffees. On one property, the coffees received grades around 60, except for the SAF with rock powder, which received a grade higher than 80. In general, the biological processes, associated with the types of agro-ecological management used, contributed to better soil and coffee quality. However, in the agroforestry systems, with greater biodiversity than the coffee crop in full sun, the biological processes contributed more for the nutrient availability from the rock powder to plants.

Keywords: Agroforestry. Coffee. Agroecology. Gneiss. Steatite.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	16
REFERÊNCIAS .....	31
CAPÍTULO I: PÓS DE ROCHA: UMA TECNOLOGIA QUE AUXILIA NOS PROCESSOS DE TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA .....	48
RESUMO .....	48
1. INTRODUÇÃO.....	49
2. METODOLOGIA .....	53
2.1. Os eventos de base agroecológica.....	54
2.1.1 Troca de Saberes .....	54
2.1.2. Intercâmbios agroecológicos .....	56
2.1.3. Mutirões agroecológicos .....	58
2.1.4. Experimentação participativa com pós de rocha de solo .....	59
3. PRINCIPAIS LIÇÕES APONTADAS .....	61
4. CONCLUSÃO .....	67
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
CAPÍTULO II: SUBSTRATOS PRODUZIDOS COM PÓS DE ROCHAS VERMICOMPOSTADOS MELHORAM O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ .....	75
RESUMO .....	75
1. INTRODUÇÃO.....	77
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	80
2.1. Obtenção e caracterização dos pós de rocha.....	81
2.2. Características químicas do esterco utilizado no vermicomposto.....	83
2.3. Produção dos vermicompostos.....	83
2.4. Produção do substrato e plantio das mudas.....	85
2.5. Análise de crescimento das plantas .....	86
2.6. Análise química do solo .....	87
2.7. Composição química e disponibilização de nutrientes e metais pesados na plantas.....	87
2.8. Análises estatísticas .....	87
3. RESULTADOS .....	88
3.1. Crescimento das plantas .....	88
3.2. Características químicas do substrato ao final do experimento.....	91
3.3. Conteúdos de elementos químicos nas plantas .....	94

3.4. Biodisponibilização total dos nutrientes no substrato .....	95
3.5. Índice de PCA global .....	97
4. DISCUSSÃO.....	98
4.1. Desenvolvimento das plantas .....	98
4.2. Características químicas do substrato após fertilizado com pós de rochas cultivados com mudas de café.....	99
4.3. Conteúdo e biodisponibilização de nutrientes para as plantas .....	101
4.4. Índice de PCA global .....	105
5. CONCLUSÃO .....	107
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107
CAPÍTULO III: PÓS DE ROCHA APLICADOS EM CAFEIRO AGROFLORESTAL MELHORAM A QUALIDADE DO O SOLO E DA BEBIDA ...	119
RESUMO.....	119
1. INTRODUÇÃO.....	121
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	126
2.1. Descrição geral das áreas experimentais .....	126
2.2. Obtenção e caracterização do pó de gnaïsse.....	130
2.3. Desenho experimental.....	132
2.4. Análise da qualidade do solo .....	132
2.5. Avaliações da qualidade do café .....	133
2.6. Análise dos dados .....	134
3. RESULTADOS .....	134
3.1. Atributos do solo .....	135
3.1.1. Características químicas do solo .....	135
3.1.2. Alterações físicas do solo .....	139
3.1.3. Alterações microbiológicas do solo.....	139
3.2. Avaliações de atributos do café.....	141
4. DISCUSSÃO.....	143
4.1. Qualidade do solo .....	143
4.1.1. Características químicas de solo .....	143
4.1.2. Alterações microbiológicas no solo.....	148
4.1.3 Alterações físicas do solo .....	150
4.2. Avaliações da qualidade do café .....	151
4.2.1. Condutividade elétrica, pH e acidez total titulável.....	151
4.2.2. Qualidade sensorial do café.....	152

5. CONCLUSÕES.....	153
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	175
ANEXOS.....	177



## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Os fertilizantes no Brasil e os pós de rocha

A utilização de fertilizantes solúveis é uma prática agrícola de adubação do solo relativamente recente. Esta prática é parte das tecnologias incentivadas pela Revolução Verde, implantada no Brasil especialmente a partir de 1964. Denomina-se Revolução Verde o modelo agrícola químico, motomecânico e genético, gestado nos EUA e na Europa e que foi disseminado para várias partes do planeta. Este termo deriva dos enormes avanços da genética que, aplicada à agricultura, possibilitou a produção de variedades vegetais altamente produtivas, desde que se utilizasse também um conjunto de práticas e de insumos industriais que ficou conhecido como “pacote tecnológico” da revolução verde (EHLERS, 1999).

A utilização das tecnologias da Revolução Verde simplificou os sistemas de produção e adotou o uso de monocultivos como prática recorrente, especialmente para a produção de *commodities*, tais como soja, milho, cana-de-açúcar e algodão, objetivando altas produtividades para exportação. Para o cultivo de tais mercadorias intensificou-se o uso não só de fertilizantes solúveis, mas também de outros insumos industrializados como agrotóxicos (EHLERS, 1999). Entre as consequências mais marcantes do uso desse modelo produtivo agroindustrial citam-se a perda de biodiversidade e da qualidade do solo e da água (CAPORAL, 2011). Para além dos reflexos da degradação ambiental, problemas sociais também são observados como consequência da intensificação do uso de insumos industriais na agricultura, a exemplo do êxodo rural, do esvaziamento do campo e do inchaço das cidades com o aumento da pobreza e da violência urbana. Além disto, houve uma perda da qualidade de alimentos, devido, em especial, ao uso de agrotóxicos (MOREIRA, 2013).

Os problemas gerados por tais práticas agrícolas têm levado a busca de soluções que consideram transformações do modelo agroindustrial. Para isto é necessário agriculturas baseadas em processos, onde o entendimento sobre as complexas interações entre o sistema solo-água-planta-atmosfera-organismos é fundamental para produção de alimentos com qualidade. Agriculturas baseadas em processos necessitam de novas rotas tecnológicas de produção, inclusive de fertilizantes químicos com vistas a fortalecer a eficiência do uso de insumos

disponíveis local e regionalmente e de reduzir a demanda e da dependência por insumos importados (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

A produção de fertilizantes químicos depende de recursos minerais não renováveis, como as rochas fosfáticas e potássicas e combustíveis fósseis (MANNING, 2013), a exemplo do fertilizante formulado NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), o mais consumido no mundo. O N encontram-se na atmosfera que é aportado ao solo a partir de processos biológicos ou com a aplicação de fertilizantes produzido a partir da síntese da amônia. A amônia para ser produzida necessita de gás natural ou nafta, portanto de combustíveis fósseis (CHAGAS, 2007). O K e o P são oriundos do intemperismo das rochas e encontram-se no solo. A disponibilização dos mesmos para as plantas na forma de fertilizantes depende essencialmente da mineração destas rochas. O K é um composto extraído de rochas sedimentares evaporíticas, sob a forma de KCl ou de sulfato de potássio ( $K_2SO_4$ ) (RESENDE et al., 2006). No Brasil há pouca exploração de rochas para a produção de fertilizantes potássicos, e os maiores exportadores de K para o Brasil são a Rússia e a Bielorrússia.

O P é extraído a partir de rochas fosfáticas, cujas concentrações mineráveis sob a forma de jazidas são de baixa ocorrência no planeta. Apesar disso, historicamente a pouca disponibilidade de rochas fosfatadas no planeta não foi considerada e houve um grande estímulo por parte de cientistas e de políticas públicas promotoras da revolução verde de uso em grande escala de P na agricultura (CORDEL et al., 2009). Como resultado, entre 1950 e 2000, houve uma demanda crescente de fertilizantes fosfatados, o que estimulou a extração de milhões de toneladas de rochas fosfatadas com o objetivo de suprir a demanda mundial (PANTANO et al., 2016), em especial para a produção agrícola. Segundo Cordel et al. (2009), 90% da demanda global por fósforo é para produção de alimentos, o que exige a exploração de cerca de 148 milhões de toneladas de rocha fosfática por ano (SMIL, 2000a; GUNTHER, 2005).

A demanda por fertilizantes fosfatados continua aumentando. Até 2050, prevê-se que esta demanda aumente em 50 a 100% até 2050, devido ao aumento da demanda global por alimentos (EFMA, 2000; STEEN, 1998). Entretanto, o período de exploração econômica dessas rochas é estimado entre 50-100 anos (CORDEL et al., 2009; RUNGE-METZGER, 1995; ECOSANRES, 2003; STEEN, 1998). Há outras reservas potenciais, com menores teores, mas de viabilidade econômica duvidosa. Há, portanto, a escassez anunciada de P para a produção de fertilizantes fosfatados

(PANTANO et al., 2016), o que pode afetar a oferta de alimentos no futuro, uma vez que se criou grande dependência de fertilizantes fosfatados para viabilizar a produção de alimentos. Além da escassez das rochas fosfatadas, as jazidas estão concentradas geograficamente, o que implica o controle e domínio da produção desse insumo por poucos países, principalmente Marrocos, China e EUA. Isto se reverte em controle geopolítico na produção e formação de preços dos fertilizantes fosfatados (JASINSKI, 2006; ROSMARIN, 2004).

Segundo dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA), o Brasil, apesar de sua grande geodiversidade, importa mais de 85% da matéria prima para a produção dos fertilizantes, necessários à produção agrícola. Em 2019/2020 as importações de fertilizantes foram aproximadamente 20 milhões de toneladas. O Brasil ocupa a 4ª posição mundial com cerca de 8% do consumo global de fertilizantes. Com algumas oscilações anuais, o Brasil importa aproximadamente 75% do nitrogênio (N), 50% do fósforo (P) e 96% do potássio (K) utilizados como fertilizantes na agricultura (RODRIGUES et al., 2010).

Em situação de guerra na Rússia, o Brasil viu em risco o seu acesso a fontes de K. Esse risco de fornecimento levou o Presidente da República a pressionar o Congresso para a aprovação do projeto de lei (PL) nº 191/2020, o qual prevê a derrubada da proibição de a mineração em terras indígenas. Ocorre que as reservas de potássio da região Amazônica não se encontram, em sua maior parte, nesses territórios, o que evidencia uma manobra política com a finalidade de viabilizar um projeto de enfraquecimento da cultura e identidade dos povos originários. Recentemente, os geólogos alertam para os enormes problemas tecnológicos envolvendo as reservas brasileiras, muitas delas localizadas a mais de 900 de profundidade na Amazônia<sup>1</sup>.

A dependência em insumos importados e derivados de combustíveis fósseis (nitrogênio) e não renováveis (potássio e fósforo) indicam a insustentabilidade do propalado “pujante” setor agrícola brasileiro, também chamado “agronegócio”, cuja produção depende da importação de fertilizantes, a qual está sujeita ao mercado internacional (DIAS; FERNANDES, 2006) e as instabilidades políticas mundiais e não há garantia de produção para as gerações futuras.

---

<sup>1</sup> <https://www.febrageo.org.br/nota-febrageo-potassio-mineracao-em-terras-indigenas-e-guerra-leste-europeu>

### 1.1. Os pós de rocha e os remineralizadores

Dentre as alternativas promissoras para a redução da importação de fertilizantes, destaca-se aquelas que potencializam a vida do solo, responsável pela fixação biológica do nitrogênio e pela melhor utilização dos nutrientes presentes no solo, da ciclagem de resíduos orgânicos e da tecnologia da rochagem. A tecnologia da rochagem prevê o uso de rochas moídas (pós rocha) para alterar os níveis de fertilidade do solo. O uso desses materiais geológicos pode diminuir a dependência da aquisição de fertilizantes no mercado internacional e favorecer o comércio regional de insumos (CARVALHO et al., 2018). Pesquisas desenvolvidas no Brasil e no exterior têm mostrado que estes materiais possuem potencial de remineralizar os solos e melhorar os seus níveis de fertilidade (van STRAATEN, 2006; THEODORO et al., 2006; BEERLING et al., 2018). A remineralização dos solos, por meio da adição de macro e micronutrientes, derivados de rochas moídas, favorece produções compatíveis e equiparáveis àquelas obtidas com o uso dos fertilizantes solúveis, com custos entre 60 a 80% mais baratos que os das fontes solúveis (LEONARDOS et al., 1976; THEODORO, 2000; THEODORO et al., 2006; THEODORO; LEONARDOS, 2014; THEODORO; MEDEIROS, 2016 e 2013; SILVEIRA et al., 2010; BAMBERG, et al., 2013; CARVALHO, 2012; SOUZA, et al., 2013; THEODORO et al., 2020 entre outros).

Os resultados promissores obtidos com os pós de rochas permitiram a modificação da Lei dos Fertilizantes (nº 6.894/1980) e a sanção da Lei nº 12.890 de 2013 (BRASIL, 2013), que dispõem sobre o uso e comercialização de fertilizantes. A nova Lei considera os remineralizadores de solos, como uma nova categoria de insumo agrícola. Alguns pós de rocha podem ser considerados remineralizadores de solos e podem ser obtidos a partir de subprodutos ou co-produtos derivados da exploração de outros bens minerais. Estes materiais possuem potencial de uso como insumo para agricultura, pois repõe os nutrientes perdidos pelo processo de intemperismo, sendo assim considerado como um processo de rejuvenescimentos de solos lixiviados (THEODORO, 2000). Alguns dos pós de rochas possuem teores relativamente altos de alguns nutrientes como fósforo, potássio, cálcio, magnésio, silício e uma série de micronutrientes (Tabela 1).

Para serem comercializados os pós de rochas precisam atender os requisitos da legislação que os classificam como remineralizadores, conforme estabelecido pela

Instrução Normativa (IN) 05/2016 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA). Entretanto, muitos pós de rocha, mesmo que não atendam às garantias mínimas e condicionantes para a comercialização como remineralizadores, têm sido utilizados pelos agricultores. O uso de materiais que não atendem as condicionantes estabelecidas na IN podem não proporcionar os resultados esperados, uma vez que não houve comprovação agrônômica de sua eficácia ou caracterização química que atenda as garantias mínimas de nutrientes e a ausência de elementos potencialmente tóxicos (EPTs).

De toda forma, o uso dos pós de rocha encontrados local ou regionalmente tende a contribuir para o aumento da autonomia dos agricultores familiares, especialmente daqueles que estão fazendo a transição para a produção orgânica e agroecológica (THEODORO, 2000; ALMEIDA et al., 2007; CARVALHO, 2012; CARVALHO et al., 2018; SOUZA et al., 2013 e 2018; CUPERTINO et al., 2016), já que muitos destes pós de rochas são permitidos na agricultura orgânica, por possuírem baixa solubilidade.

Muitos agricultores agroecológicos da Zona da Mata mineira, em transição para a certificação do café orgânico, já utilizam pós de rochas gnáissicas em seus sistemas produtivos e, também, estão envolvidos com pesquisas científicas relacionadas ao uso desses insumos. Cupertino et al. (2016) realizaram entrevistas com agricultores familiares que possuem experiências com o pó de rocha na região vertente do Caparaó. Segundo o estudo, os agricultores afirmaram que a utilização dos pós de rocha é uma alternativa para substituir os fertilizantes químicos, reduzir os custos de produção e a dependência de insumos externos, bem como para auxiliar nos processos de recuperação de solos degradados.

Tabela 1. Teores de fósforo, potássio e cálcio em algumas rochas de ocorrência nacional.

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (dag.kg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (dag.kg <sup>-1</sup> )	CaO (dag.kg <sup>-1</sup> )
Basalto	0,37	1,42	7,81
Tufito	0,94	3,25	7,04
Verdetes	0,09	7,75	0,18
Gnaisses	0,07	5,00	1,27
Esteatito	0,02	0,01	2,3

Fonte: BORGES et al. (2013) e CARVALHO (2012)

Contudo, alguns desses subprodutos podem apresentar restrições de uso devido a presença de metais pesados acima do permitido pela legislação (IN 05/2016) que define os critérios de teores totais máximos dos elementos potencialmente tóxicos, tais como o arsênio (As), o cádmio (Cd), o chumbo (Pb) e o mercúrio (Hg). A litoquímica total de algumas rochas pode apresentar teores bastante expressivos de um ou mais desses elementos, como é o caso do esteatito (pedra-sabão), que pode possuir níveis de Ni acima de  $1.500 \text{ mg kg}^{-1}$  (CARVALHO, 2012). Porém, não necessariamente esse elemento será disponibilizado para as plantas, como demonstrado por Souza et al. (2013). Esses autores mencionam que este material pode ser utilizado em algumas circunstâncias, a exemplo da produção de mudas de espécies perenes.

Mesmo para aqueles pós de rocha sem restrição quanto a presença de metais pesados e com potencial de uso como remineralizador, a disponibilidade dos nutrientes presentes nos minerais formadores das rochas pode ser baixa. Isto porque os minerais precisam ser intemperizados para liberar os elementos químicos (alguns deles importantes nutrientes para as plantas) presentes em suas redes cristalinas. Por um lado, a baixa disponibilidade pode ser uma vantagem na fertilização do solo no longo prazo, pois ocorre a liberação lenta dos nutrientes (THEODORO; LEONARDOS, 2014). Especialmente nos sistemas orgânicos de produção, onde não é aceita a aplicação de fertilizantes químicos solúveis, mas pode-se utilizar insumos minerais que proporcionem a disponibilização de nutrientes lentamente (CARVALHO, 2012).

## **1.2. A biodisponibilização dos nutrientes presentes nos pós de rocha**

Por outro lado, a baixa solubilidade dos nutrientes derivados dos minerais que compõem as rochas pode ser acelerada por alguns tipos de práticas de manejo orgânicos. A disponibilidade depende da velocidade do intemperismo das rochas e este depende de alguns fatores, como composição mineralógica da rocha, granulometria do material, do grau de alteração dos minerais presentes e das condições e manejos de aplicação dessas fontes minerais (THEODORO et al, 2020). Diversos estudos apontam alternativas para catalisar o processo de intemperismo e, em consequência, facilitar a disponibilização de nutrientes para as plantas, assim como a imobilização de metais no solo. Estas alternativas estão relacionadas às

características do pó de rocha, aporte de matéria orgânica e o aumento das atividades bióticas no solo (CARVALHO, 2012; CORREIA; VASQUEZ, 2013; MARQUES; MARQUES, 2013; THEODORO et al., 2013).

Os estudos que apontam os benefícios dos processos biológicos na biointemperização de minerais presentes nos pós de rocha têm aumentado, e demonstram a capacidade dos organismos em facilitar o processo de disponibilização de nutrientes para o solo. Por exemplo, a ingestão do pó de gnaiss e de esteatito por minhocas, durante o processo de vermicompostagem, aumentou a disponibilização dos nutrientes para o solo e para as plantas, em especial zinco, o que possibilitou maior produção de massa seca da parte aérea do milho e maiores concentrações de nutrientes P, K, Ca, Mg, Mn, Ni (SOUZA et al., 2013).

Embora menos comum em solos tropicais, os fungos ectomicorrízicos (EcM) também contribuem para a maior biodisponibilização de nutrientes. Os EcM são conhecidos como “*rock-eating fungi*” ou “fungos comedores de rochas”, pois influenciam os ciclos biogeoquímicos ao acelerar o intemperismo dos minerais (JONGMANS et al., 1997), o que poderia contribuir para a nutrição de plantas (van SCHÖLL et al., 2007). Wallander (2006) apontou que a biodisponibilização de nutrientes presentes em minerais do solo, como os feldspatos, aumentou quando mudas de árvores foram cultivadas em simbiose com os fungos EcM. Estudos demonstraram que as raízes ectomicorrízicas podem induzir muitas mudanças químicas da rizosfera (CUMMING; WEINSTEIN, 1990) resultando na alteração dos ciclos biogeoquímicos pelos fungos EcM. Tais alterações podem estar associadas a maior proliferação de hifas em locais com maior disponibilidade de cátions, ânions ou materiais orgânicos (BENDING; READ, 1995; JENTSCHKE et al., 2000); a acidificação da rizosfera pela liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular pelas hifas dos fungos EcM (van SCHÖLL et al., 2007); pela ação quelante de metais de ácidos orgânicos (LAPEYRIE, 1988; MALAJCZUK; CROMACK, 1982) e; pela produção de enzimas fosfatase (H<sup>+</sup>AUSSLING; MARSCHNER, 1989). Segundo estudos de Liu (2007) com a presença de árvores a atividade fosfatase ácida diminuiu significativamente com o aumento da distância da superfície radicular, mas ainda assim exerceu papel importante na solubilização de nutrientes nas partes mais profundas do solo, especialmente nas frações de P.

Os fungos arbusculares micorrízicos (FMA), mais comuns nos solos tropicais, também contribuem para a intemperização dos minerais (MIRANDA; MIRANDA,

2007). Segundo Carvalho (2012), a biodisponibilização dos nutrientes de pós de gnaiss, charnockito e esteatito foi influenciada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Além dos mecanismos baseados na liberação de ácidos orgânicos e na extrusão de  $H^+$ , o  $CO_2$  liberado durante a respiração fúngica aumenta a degradação de silicatos por meio do ataque dos ácidos orgânicos. Quirk (2012) apontou que tanto FMA quanto EcM aumentaram a solubilização de nutrientes dos minerais presentes no basalto e no granito. Segundo o autor, o cálcio foi mais disponibilizado pelas EcM e, posteriormente, pelos FMAs, o que demonstrou a eficiência desses organismos no processo de intemperismo dos minerais presentes nas rochas.

O aumento do volume de solo explorado é o mecanismo considerado como mais aceito para a contribuição da FMA para a absorção de nutrientes. Além de explorar maior volume de solo, as hifas exploram “microsites” não explorados pelas raízes, a exemplo de poros muito pequenos e locais com pequenas quantidades de matéria orgânica (JONER; JAKOBSEN, 1995). Entretanto, outros mecanismos também são registrados, tais como: (1) a cinética da absorção de P pelas hifas difere daquelas presentes nas raízes, porque os FMA têm maior afinidade ( $K$  mais baixo) e menos perdas quando comparadas às raízes (FAQUIN et al., 1990; SILVEIRA; CARDOSO, 2004) e; (2) hifas dos FMA podem solubilizar formas inorgânicas de P incapazes de serem solubilizadas pelas raízes (BOLAN, 1991; CARDOSO; KUYPER, 2006; SATTER et al., 2006); e (3) plantas e fungos micorrízicos contribuem diferentemente para a absorção de formas orgânicas de P, porque plantas e fungos liberam no solo diferentes quantidades de fosfatases e outras enzimas (HAMEL, 2004).

O estudo das enzimas tem potencial para fornecer uma avaliação integrada do estado biológico do solo pela sua relação com a biota, pela facilidade de mensuração, pela resposta rápida às mudanças no uso e manejo do solo (DICK, 1994; DICK et al., 1996; BANDICK; DICK, 1999; KANDELER et al., 1999; KNUPP et al., 2010; PEIXOTO et al., 2010). As enzimas são utilizadas para a avaliação dos solos, porque elas são sensíveis as mudanças que ocorrem com o manejo (BANDICK; DICK, 1999; GREEN et al., 2007; STOTT et al., 2010). Entretanto, estudos com enzima precisam levar em consideração as diferentes condições edafoclimáticas e a diversidade dos agroecossistemas e dos sistemas de manejo e do tipo de adubação utilizada.

A determinação de atividades enzimáticas em experimentos com pós de rochas pode indicar a atuação de microrganismos na ciclagem de nutrientes, em consequência do biointemperismo nos pós de rocha. Mersi et al. (1991) verificaram



aumento da fosfatase no solo em áreas de floresta onde foram aplicados uma mistura de basalto, diabásio e bentonita. O aumento foi ainda maior que em áreas sem a presença de árvores. Tal estudo foi conduzido na Áustria e pouco se sabe sobre a relação entre o efeito dos pós de rocha na atividade enzimática no Brasil.

A atividade enzimática e a diversidade microbiana no solo relacionam-se ainda com a diversidade funcional das plantas, uma vez que ambientes com maior diversidade de espécies, em especial com árvores, aumenta as taxas dos processos biológicos e, em consequência, amplia a funcionalidade dos sistemas, que, por sua, se relaciona favoravelmente com os serviços ecossistêmicos (TEIXEIRA, et al. 2019).

### 1.3. Sistemas biodiversos e a disponibilidade de nutrientes

Os/as agricultores/as familiares, em especial agroecológicos, normalmente possuem sistemas biodiversos. Nesses sistemas, é comum o uso de adubos verdes, esterco animais, compostagens diversas, incluindo vermicompostagem (CARVALHO, 2012; SOUSA, et al., 2019). Muitos desses sistemas biodiversos são agroflorestais (SAFs). SAFs são formados por componentes lenhosos (árvores e arbustos) e herbáceos, associados a cultivos agrícolas e, ou animais em uma mesma área, de maneira simultânea ou sequencial, com o objetivo de promover uma eficiente ocupação dos estratos verticais, tanto acima do solo, como no solo e as diversas interações ecológicas entre os componentes (GAMA, 2003), sem perda de produção do agroecossistema (SOUZA et al., 2010). A biodiversidade presente aumenta a funcionalidade de tais sistemas, deixando-os mais resilientes e com melhor capacidade de mitigar os problemas provocados pelas mudanças climáticas (TEIXEIRA et al., 2019; GOMES et al., 2020).

Entre as inúmeras vantagens dos SAFs, encontram-se o aumento do volume do solo explorado pelo volume das raízes mais profundas (RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2009) e a melhoria das características químicas, biológicas e físicas do solo. Tais melhorias são advindas da (i) maior deposição de serapilheira nos SAFs, responsável por acréscimos significativos ao conteúdo da matéria orgânica (MO) do solo (NOTARO et al., 2014; HERGOUALC'HA et al., 2012; TUMWEBAZE et al., 2012); (ii) melhoria da ciclagem de nutrientes (NAIR et al., 1999); (iii) redução da erosão e aumento de infiltração de água no solo (BARRETO et al., 2011); (iv) redução das perdas de nutrientes causadas pela decomposição da biomassa (MONTAGNINI;

NAIR, 1999; MUTUAL et al., 2005) e; (iv) aumento da atividade microbianas do solo (CHANDER et al., 1998; SOUZA et al., 2012).

Nos sistemas agroflorestais, em consequências do aumento da atividade microbiana, há um aumento da atividade enzimática. Segundo Chander et al. (1998), o aumento da microbiota do solo foi responsável pelo aumento da atividade de enzimas, como desidrogenase e as atividades de fosfatase. Entretanto, a atividade das enzimas do solo varia também de acordo com o tipo de resíduo vegetal presente nos sistemas diversos. Melo e Pizauro-Júnior (1985) verificaram que a atividade de amilases em um Latossolo Vermelho-Escuro era maior em amostras que receberam restos da cultura de labe labe (*Lablab purpureus* (L.) Sweet), comumente utilizada como adubo verde, comparada com as que receberam restos da cultura de sorgo (*Sorghum bicolor*). Em SAFs, a atividade dos resíduos também influencia na atividade enzimática, como o tipo da serapilheira e adubação verde (UDAWATTA et al., 2007; LORI et al., 2020). Alguns autores sugerem que a beta-glicosidase é uma das enzimas mais sensíveis na detecção de mudanças geradas pelo tipo de manejo realizado no solo (BANDICK; DICK 1999; NDIAYE et al., 2000; KNIGHT; DICK, 2004).

Além das melhorias nas propriedades químicas e biológicas do solo, os SAFs melhoram ainda as suas propriedades físicas. Carvalho et al. (2004) observaram que o solo sob sistema agroflorestal apresentou menor densidade aparente, maior porosidade, menor resistência à penetração e maior estabilidade de agregados, quando comparado ao mesmo solo sob sistema de plantio convencional, indicando a importância dos SAFs para manutenção e construção da qualidade do solo. Os SAFs podem ainda contribuir para a redução da população de plantas espontâneas (BEER et al., 1998; SILESHI et al., 2007), o que economiza mão de obra no manejo dos mesmos.

Os SAFs são muito utilizados por agricultores em todo o mundo (PALMAN, 1995; DAMATTA, 2007; JOSE, 2009; NOTARO et al., 2014; TIAN et al., 2013). Na Zona da Mata mineira é comum árvores consorciadas com café e pastagens (SOUZA et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2019) Os quintais destas famílias também são considerados agroflorestais (OLIVEIRA, 2015). Alguns dos SAFs dos agricultores agroecológicos da Zona da Mata foram implantados, na década de 1990, em um processo participativo, por meio das atividades do CTA-ZM (Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata), em parceria com a Universidade Federal de Viçosa e organizações dos agricultores (CARDOSO et al., 2001). Agricultores agroecológicos do município

de Divino participaram deste processo. Esses Sistemas foram implantados com o objetivo de diversificar a produção e enfrentar problema relacionados à perda de qualidade do solo (CARDOSO et al., 2001), a partir do manejo agroecológico de agroecossistemas.

A experiência com SAFs foi sistematizada participativamente e apontou que os mesmos provêm diversos serviços ecossistêmicos (SOUZA et al., 2010). Dentre esses destaca-se a produção diversificada de alimentos, a ciclagem de nutrientes (SOUZA et al., 2010) e o controle biológico (REZENDE et al., 2014). A diversificação da produção é importante para melhorar a segurança alimentar e como mecanismo para enfrentar os problemas relacionados às oscilações dos preços do café, que é a principal fonte de renda da maioria dos agricultores da região (CARDOSO et al., 2001; SOUZA et al., 2010).

Um dos principais objetivos do manejo biodiverso dos agroecossistemas, a exemplo dos SAFs, é assegurar a manutenção, no longo prazo, da fertilidade dos solos sem a necessidade de aportes contínuos de insumos externos, especialmente os químicos. O manejo de agroecossistemas biodiversos prioriza os processos biológicos, importantes na ciclagem contínua dos nutrientes (ALMEIDA, 2007). Entretanto, os processos biológicos estão constantemente associados aos processos químicos e físicos, a exemplo daqueles envolvendo os pós de rocha. Portanto, como estratégia de melhorar o manejo dos sistemas de cultivo, os processos biológicos podem ser associados à processos químicos, desde que não comprometam a autonomia dos/as agricultores/as. Recentemente, os/as agricultores/as agroecológicos têm incluído o uso de pós de rocha associado aos processos biológicos em seus sistemas de cultivo (ALMEIDA, 2007; CUPERTINO et al., 2016). O uso desses materiais tem sido associado à vermicompostagem, ao uso de esterco animais compostados ou não, à adubação verde e aos sistemas agroflorestais (SAFs).

Em um processo de pesquisa-ação na Zona da Mata mineira, Souza et al. (2013) demonstrou que o processo de vermicompostagem enriquecido com pó de esteatito e de gnaïsse aumentou a disponibilização dos nutrientes para o solo e o crescimento das plantas de milho. Entretanto, para o entendimento dos processos de solubilização dos nutrientes dos pós de rocha no solo é preciso o aprofundamento dos estudos em ambientes com maior diversidade de plantas (THEODORO; MEDEIROS, 2016), onde

os processos de ciclagem são mais intensos (PALMAN, 1995), a exemplo dos sistemas agroflorestais.

A melhoria das propriedades químicas, físicas e, em especial, biológicas dos solos nos SAFs contribui para a maior biodisponibilização dos nutrientes nos pós de rocha. Theodoro e Medeiros (2017), utilizaram sistemas agroflorestais adubados ou não com pós de rochas kamafugíticas e sedimentos da barragem, com e sem esterco bovino, para recuperação de uma área degradada na Estação Ecológica de Pirapitinga, em Três Marias, Minas Gerais. As espécies arbóreas do cerrado, bem como as leguminosas (feijão de porco e feijão guandu) e hortaliças (cenoura e salsinha) que compunham os SAFs cresceram e produziram mais quando adubadas com pó de rocha e esterco bovino (THEODORO; MEDEIROS, 2017).

Outros sistemas de manejo diversos, mesmo que não em SAF, alteram a atividade biológica e, por isto, contribuem para a biodisponibilidade dos nutrientes presentes nos pós de rocha. Exemplo deste tipo de manejo, são os que utilizam plantas herbáceas como cobertura do solo e ou adubação verde. Alguns trabalhos conduzidos na região Centro-Sul do Paraná e no Planalto norte catarinense em parceria com agricultores experimentadores indicaram que a produção de biomassa de ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), tremoço (*Lupinus albus* L.) e aveia-preta (*Avena strigosa* L.) cresceram aproximadamente 70% quando adubados com pó de basalto. Essas plantas funcionaram, então, como “espécies solubilizadora” de minerais. Essas espécies possuem também a capacidade de se associar a bactérias fixadoras do nitrogênio atmosférico, de disponibilizar fósforo fixado nas argilas oxídicas do solo, de estruturar o solo fisicamente, de romper camadas compactadas na subsuperfície, além de outros serviços ambientais fundamentais para a sustentação da fertilidade dos solos a longo prazo (ALMEIDA et al., 2007).

Espécies não leguminosas de crescimento rápido e utilizadas como cobertura do solo e adubo verde, como margaridão (*Tithonia diversifolia*), também têm sido utilizadas para aumentar a “biointemperização” dos pós de rochas devido à sua capacidade e habilidade de extrair e acessar os nutrientes destes materiais (THEODORO et al., 2013). Na Zona da Mata, os agricultores que participaram da implantação e sistematização dos sistemas agroflorestais, incluindo alguns do município de Divino, apontaram a importância do estrato herbáceo nos SAFs para a proteção e melhoria da qualidade do solo. Segundo eles, o sistema agroflorestal com café deve possuir um estrato arbóreo diversificado, um estrato arbustivo e um estrato

herbáceo (SOUZA et al., 2010). Este estrato herbáceo é composto de vegetação espontânea ou de plantas cultivadas alimentícias ou leguminosas para adubação verde. Esta diversificação de estratos e de matérias contribuem com uma maior atividade dos microrganismos no solo (CARDOSO et al., 2003a; CARDOSO et al., 2003b).

Recentemente agricultores agroecológicos do município de Divino, iniciaram o processo de transição para o café orgânico e estão utilizando pós de rocha como fonte de nutrientes para essa cultura, cultivada em SAF. Entretanto, até o momento não há estudos que comprovem a eficiência deste tipo de adubação para a produção do café orgânico nesses ambientes e os agricultores demandaram tais estudos. Supõe-se que a diversidade de plantas presentes nos SAFs irá influenciar a biodisponibilização dos nutrientes presentes nos pós de rocha, especialmente se considerarmos que estudos (SILVA, 2017; DIAS et al., 2018, MANCUSO et al., 2014) já apontam o efeito do uso do pó de rocha na melhoria da fertilidade do solo e produtividade do café cultivado a pleno sol (sistema convencional).

A adubação com pó de glauconita no cafeeiro (*coffea arabica*) aumentou a fertilidade do solo, com correção da acidez, aumento da capacidade de troca de cátions efetiva, elevação dos teores de macronutrientes como  $K^+$ ,  $P$ ,  $Ca^{+2}$ , e micronutrientes como  $Zn^{2+}$  e  $Fe^{2+}$ . Houve ainda aumento da produtividade do café e melhoria da qualidade da bebida de café (DIAS et al., 2018). Mancuso et al. (2014) e Silva et al. (2017) estudaram pós de rocha em áreas de cafezal. O primeiro com o uso dos fonolitos como fonte de  $K$  (MANCUSO et al., 2014) e o segundo de fosfato de Araxá como fonte de  $P$  (SILVA et al., 2017). Esses autores observaram que houve elevação do rendimento na produtividade de grãos de café e melhoria nos parâmetros químicos e biológicos do solo.

#### 1.4. Pós de rochas para a produção de mudas e para a melhoria da qualidade do café

Sabe-se que o tipo de adubação pode influenciar, desde a produção de mudas de café até a qualidade da bebida do café (MALTA et al., 2002). A implantação e longevidade do cafeeiro depende da qualidade das mudas, pois esta influência decisivamente na formação da estrutura do sistema radicular e da parte aérea da planta, ou seja, o bom cafezal depende da boa muda (MATIELLO et al., 2002). A produção de mudas de qualidade depende do desenvolvimento de substratos que

garantam a nutrição da planta. Para o café, são desejadas em especial fontes com maior presença de micronutrientes como o zinco e o cobre que, se ausentes, limitam o crescimento dessa cultura (DENCHEN et al., 1991; DANTAS, 1991). Souza et al. (2018) obteve aumento de P e Zn na disponibilização desses nutrientes oriundos da vermicompostagem enriquecida com o pó de gnaïsse, apresentando potencial para a produção de substrato para mudas de café.

A nutrição organomineral das plantas de café influencia a qualidade dos grãos e da bebida de café (MALTA et al., 2002), principalmente quando há acentuada deficiência ou excesso de algum nutriente. Malta et al. (2008) indicaram que a matéria orgânica foi capaz de alterar positivamente a composição química dos grãos e a qualidade da bebida de café. A utilização de esterco bovino isoladamente ou associado com casca de café e adubação verde, proporcionou cafés de melhor qualidade sensorial do que o cultivo convencional. Porém, diversos fatores podem influenciar a composição química do grão e, conseqüentemente, a qualidade do café produzido. Dentre eles, podem-se destacar fatores genéticos (como a cultivar utilizada), ambientais (condições edafoclimáticas) e culturais (condições de manejo) (CLIFFORD, 1985; PRETE, 1992; MACÍAS; RIAÑO, 2002; MALTA et al., 2002 e 2003; CHAGAS et al., 2005).

Salazar et al. (2015) encontraram correlações positivas entre atributos sensoriais e as características químicas do solo, pois estas alteram os constituintes químicos da bebida, que, por sua vez, alteram as características de sabor e aroma. Segundo os mesmos autores, o potássio (K), o sódio (Na) e o alumínio (Al) tem relação com fragrância e aroma e o cálcio (Ca) está relacionado com a percepção da acidez. Portanto, espera-se que pós de rochas com altos teores de K, a exemplo das rochas gnáissicas, podem contribuir para melhorar a qualidade do café.

A análise sensorial, comumente utilizada para avaliar a qualidade do café, depende do provador e varia com as condições de realização das provas (CLEMENTE et al., 2015a; CLEMENTE et al., 2015b). Por isto, outras análises podem ser usadas para auxiliar a análise sensorial, para assegurar menor subjetividade e confiabilidade dos resultados, tais como análise da composição química e condutividade elétrica (CLEMENTE et al., 2015a; OLIVEIRA et al., 2013). Essas ferramentas de análise de qualidade de café nem sempre são acessíveis aos agricultores familiares (BUAINAIN, 2006), por isto é importante desenvolver pesquisa com a participação dos agricultores familiares. A experiência com sistemas agroflorestais sugere que a pesquisa

participativa mobiliza, capacita e induz inovação técnica (ROCHELEAU, 1999), que é construída a partir de diálogos e rodas de conversa sobre a temática do uso dos pós de rocha nos SAFs da região. Os métodos de pesquisa participativa têm ajudado os cientistas a entender como os agricultores da Zona da Mata mineira experimentam e aprimoram suas técnicas nos SAFs e buscam parcerias com agricultores para desenvolver tecnologias de *design*, implementação e manejo de agroecossistemas (SOUZA et al., 2012).

Segundo Conway (1993), os processos de diálogo, possibilitados pela pesquisa participativa, podem contribuir para a construção de relações sociais mais harmônicas, pois implicam na compreensão de que tais processos contribuem também para a formação de cidadãos e cidadãs mais participativos, mais reflexivos e, portanto, mais propensos a atuar para transformar a realidade. Isso porque não há diálogos sem sujeitos, sem aqueles que se expõem e se dispõem às trocas, que se expressam e se abrem às ideias e aos conceitos de um outro alguém, na busca por novos entendimentos. A palavra “diálogo” deixa transparecer o seu aspecto “ativo” pois, se o diálogo visa a solução de problemas e o entendimento entre pessoas, por si só, ele pressupõe um movimento de mudança no pensamento daqueles que participam do processo dialógico (CONWAY, 1993).

Uma das modalidades de pesquisa que pressupõe a participação dos/as agricultores/as é a pesquisa-ação, que segundo Kemmis e McTaggart (1988) é uma forma de investigação baseada em uma reflexão coletiva empreendida pelos participantes de um grupo social de maneira a melhorar a racionalidade e a justiça de suas próprias práticas sociais e educacionais, como também o seu entendimento dessas práticas e de situações onde essas práticas acontecem. Só existe pesquisa-ação quando a pesquisa é colaborativa, e quando há uma participação genuína dos beneficiários da pesquisa no desenvolvimento da análise e na tomada de decisões.

Assim, a presente pesquisa objetivou avaliar o potencial nutricional de pós de rocha para a produção de café (*Coffea arabica*) orgânico. A tese está estruturada em três capítulos. O Capítulo 1, cujo título é “Pós de rocha: uma tecnologia que auxilia nos processos de transição agroecológica”, objetivou sistematizar as informações relativas ao uso dos pós de rocha por agricultores familiares em sistemas agroflorestais. Neste capítulo foram identificadas e analisadas as iniciativas de uso de pós de rocha pelos agricultores familiares em transição agroecológica na Zona Mata mineira. O Capítulo 2, com o título “Substratos produzidos com pós de rochas

vermicompostados melhoram o desenvolvimento de mudas de café” objetivou avaliar o potencial de pós de rochas silicatadas para a produção de mudas de café (*Coffea arabica*) orgânico utilizando substratos produzidos com pós de gnaisse e esteatito vermicompostados; e a capacidade da vermicompostagem de potencializar a liberação de nutrientes de pós de rochas para o desenvolvimento das mudas de café. O Capítulo 3, com o título, “Pós de rocha no cafeeiro agroflorestal melhoram as qualidades do solo e da bebida”, objetivou avaliar, em campo, a influência do uso do pó de gnaisse na qualidade do solo e do café em sistema agroflorestal e em cafezal a pleno sol.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. de; SILVA, F. J. P. da; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. *Agriculturas*, v. 4, n. 1, p. 7-10, mar. 2007.

BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; TONIOLO, J. A.; GRECCO, M. F.; POTES, M. L. Desempenho agrônômico de fontes minerais e orgânicas de nutrientes para as culturas de milho e trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, Poços de Caldas. Anais... Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013. p. 24-31. 2013.

BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.*, 31:1471-1479, 1999.

BARRETO, P. A.B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K.S.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems* 81: 213-220. 2011.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164. 1998.



BEERLING, D. J., LEAKE, J. R., LONG, S. P. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants* 4, 138–147 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>

BENDING, G. D.; READ, D. J. The structure and function of the vegetative mycelium of ectomycorrhizal plants: V. Foraging behaviour and translocation of nutrients from exploited litter. *New Phytol* 130:401–409. 1995.

BOLAN, N. S. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant Soil* 134:189–207. 1991.

BORGES, P. H. C.; CASTELARI, L. H. L.; SAMPAIO, C. C. V.; TAVARES, L. DE F.; BARBOSA, W. G.; PEDRON, L. G.; CARVALHO, A. M. X. Rochas com potencial de uso para rochagem na região do Alto Paranaíba (MG) e entorno. *Cadernos de Agroecologia*, v. 8, n. 2, p. 1-6, 2013.

BRASIL. Decreto no 8.384, de 29 de dezembro de 2014. Altera o Anexo ao Decreto no 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados a agricultura. *Diário Oficial da União*, 30 dez. 2014. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2011-2014/2014/Decreto/D8384.htm). Acesso em: 30 maio. 2020.

BRASIL. 2013. Lei nº 12.890 de 10 de dezembro de 2013. Mudanças da Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como insumo para agricultura. Acessado em 01 de set de 2018. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm/](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm/).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, 14 mar. 2016. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumosagricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>>. Acesso em: 30 maio. 2020.

BUAINAIN, A.M. Agricultura familiar, agroecologia e desenvolvimento sustentável: questões para debate. São Carlos (Brasil): EDUFSCAR, 43-66, 2005. 167, 2005.

CAPORAL, F. R. Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis. In: CAPORAL, F. R.; AZEVEDO, E. O. (Orgs.). Princípios e perspectivas da agroecologia. Curitiba: IFPR, p. 83-120. 2011.

CARDOSO, I. M.; GUIJT, I.; FRANCO, F. S.; CARVALHO, A. F.; FERREIRA NETO, P.S. Continual learning for agroforestry system design: University, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agricultural Systems*, v.69, p. 235-257. 2001.

CARDOSO, I. M.; BODDINGTON, C.; JANSSEN, B. H.; OENEMA, O.; KUYPER, T.W. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforest Syst* 58:33–43. 2003a.

CARDOSO, I. M.; JANSSEN, B. H.; OENEMA, O.; KUYPER, T. W. Phosphorus pools in Oxisols under shaded and unshaded coffee systems on farmers' fields in Brazil. *Agroforest Syst* 58:55–64. 2003b.

CARDOSO, I.M.; KUYPER T.W. Mycorrhizas and tropical soil fertility. *Agriculture and Ecosystem Environment* 116:72–84. 2006.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CARVALHO, A. M. X. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. PhD thesis, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 116 p. 2012.

CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, M. E. P., THEODORO, S. H. Cap. Livro. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: Solos e Agroecologia. 1 Ed. Brasília: Embrapa, v. 4, p.103-128. 2018.

CHAGAS, S. J. R.; MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A. Potencial da região sul de Minas Gerais para a produção de cafés especiais (Atividade da polifenoloxidase, condutividade elétrica e lixiviação de potássio). Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.29, n.3, p.590-597, 2005.

CHAGAS, A. P. A síntese da amônia: alguns aspectos históricos. Assuntos Gerais. Quím. Nova 30 (1) Fev 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000100039>

CHANDER, K., GOYAL, S., NANDAL, D. et al. Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system. Biology and Fertility Soils 27, 168–172 (1998). <https://doi.org/10.1007/s003740050416>.

CLEMENTE, A. C. S.; CIRILLO, M. A.; MALTA, M. R.; CAIXETA, F.; PEREIRA, C.C.; ROSA, S. D. V. F. Operações pós-colheita e qualidade físico-química e sensorial de cafés. Coffee Science, v. 10, n. 2, p. 233-241, 2015a.

CLEMENTE, J. M.; MARTINEZ, H. M. P.; ALVES, L. C.; FINGER, F. L.; CECON, P. R. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 37, n. 3, p. 297-305, 2015b.

CLIFFORD, M.N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M.N.; WILSON, K.C. (Eds.). Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage. London: Croom Helm, p.305-359. 1985.

CONWAY, G. R., Análise participativa para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: AS-PTA, 32p. 1993.

CORDELL, D.; DRANGERT, J.O.; WHITE S. The story of phosphorus: global food security and food for thought. Global environmental change 19 (2), 292-305. 2009.

CORREIA JR, F. C.; VASQUEZ, M. L. Potencial para rochagem de rochas sedimentares na bacia do amazonas no Pará. Anais. II Congresso Brasileiro de rochagem. Poços de Caldas, Minas Gerais, 399p. 2013.

CUMMING, J. R., AND L. H. WEINSTEIN. Utilisation of  $AlPO_4$  as a phosphorus source by ectomycorrhizal *Pinus rigida* seedlings. *New Phytologist*. 116: 99–106. 1990.

CUPERTINO, M. do C.; SOUZA, M.E.P.; FRANCO, E.H.; CARVALHO, A.M.X.; CARDOSO, I.M. Sistematização das experiências com pó de rocha na Zona da Mata mineira *Cadernos de Agroecologia*, [S.l.], v. 10, n. 3, may 2016. ISSN 2236-7934. ... 3 (2015): Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia. 2016.

DAMATTA, F.; RODRÍGUEZ, N. Produção sustentável de cafezais em sistemas agroflorestais dos neotrópicos: uma visão agrícola e ecofisiológica. *Agronomía Colombiana* 25(1), 113-123, 2007.

DANTAS, J. D. Micronutrientes no solo – Boro. *In*: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da (eds) *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba: POTAFOS, p.113-125, 1991.

DENCHEN, A. R.; H. A. G, H. P.; CARMELO, Q. A. C. Mecanismos de absorção e de translocação de micronutrientes. *In*: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (eds) *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba: POTAFOS, p.113-125, 1991.

DIAS, V.P.; FERNANDES, E. Fertilizantes: uma visão global sintética. *BNDES Setorial*, n. 24, p. 97-138, set. 2006.

DIAS, K. G. L.; GUIMARÃES, GONTIJO, P. T.; CARMO, D. L., REIS, T. H. P.; LACERDA, J. J. J. Fontes alternativas de potássio em cafeeiros para melhoria da fertilidade do solo, da produtividade e da qualidade de bebida. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.53, n.12, p.1355-1362, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200008>

DICK, R. P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, p.107-124. (Special Publication, 35). 1994.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. Soil enzyme activities and biodiversity measurements. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison, Soil Science Society of America, p.247-272. (Special Publication, 49). 1996.

ECOSANRES. Closing the Loop on Phosphorus. Stockholm Environment Institute (SEI) funded by SIDA Stockholm. 2003.

EHLERS, E. Agricultura Sustentável: origens e perspectivas de um novo paradigma. 2ª Ed. Guaíba: Agropecuária, 1999.

EUROPEAN FERTILIZER MANUFACTURERS ASSOCIATION (EFMA). Phosphorus: Essential Element for Food Production. European Fertilizer Manufacturers Association (EFMA), Brussels. 2000.

FAQUIN, V.; MALAVOLTA, E.; MURAOKA, T. Cinética da absorção de fosfato em soja sob influência de micorriza vesículo–arbuscular. Revista Brasileira de Ciência do Solo 14:41–48. 1990.

GAMA, M. de M. B. Análise técnica e econômica de sistemas agroflorestais em Machadinho d'Oeste, Rondônia. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 126 p. 2003.

GOMES, L. C.; BIANCHI, F.J.J.A; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, R. B. A.; FERNANDESFILHO, E.I.; SCHULTE, R. P. O. Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. [Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 294](https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858), 1 June 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>

GUNTHER, F. A solution to the heap problem: the doubly balanced agriculture: integration with population. Disponível em: <http://www.holon.se/folke/kurs/Distans/Ekofys/Recirk/Eng/balanced.shtml>. 2005.

GREEN, V.S.; STOTT, D.E.; CRUZ, J.C. & CURI, N. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. *Soil Till. Res.*, 92:114-121, 2007.

HÄUSSLING, M.; MARSCHNER, H. Organic and inorganic soil phosphates and acid phosphatase activity in the rhizosphere of 80-year-old Norway Spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] Trees. *Biology Fertility of Soils* 8: 128– 133. 1989.

HAMEL, C. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on N and P cycling in the root zone. *Can J Soil Science*. 84:383–395. 2004.

HERGOUALC'HA, K.; BLANCHARD, E.; SKIBAE, U.; HÉNAULT, C.; HARMANDA, J.M. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 15: 102-110. 2012.

JENTSCHKE, G.; BRANDES, B.; KUHN, A.J.; SCHRÖDER, W.H.; BECKER, J.S.; GODBOLD, D.L. The mycorrhizal fungus *Paxillus involutus* transports magnesium to Norway spruce seedlings. Evidence from stable isotope labeling. *Plant Soil* 220:243–246. 2000.

JASINSKI, S.M. Phosphate Rock, Mineral Commodity Summaries, U.S. Geological Survey <[minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate\\_rock/](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/phosphate_rock/)>. 2008.

JONER, E.J.; JAKOBSEN, I. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biol Biochem* 27:1153–1159. 1995.

JONGMANS, A.G.; VAN BREEMEN, N.; LUNDSTRÖM, U.S.; VAN HEES, P.A.W.; FINLAY, R.D.; SRINIVASAN, M.; UNESTAM, T.; GIESLER, R.; MELKERUD, P.A.; OLSSON, M. Rock-eating fungi. *Nature* 389:682–683. 1997.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76:1–10. 2009.

KANDELER, E.; TSCHERKO, D. & SPIEGEL, H. Long-term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management. *Biol. Fert. Soils*, 28:343-351, 1999.

KEMMIS, S.; McTAGGART, R. *Como planificar la investigación-acción*. Barcelona: Laertes, 1988.

KNIGHT T.R.; DICK, R. P. Differentiating microbial and stabilized [beta]-glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biol Biochem* 36:2089–2096. 2004.

KNUPP, A.M.; FERREIRA, E.P.B.; GONZAGA, A.C.O. & BARBOSA, F.R. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo em unidades piloto de produção integrada de feijoeiro comum. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35. 23p. 2010.

LAPEYRIE, F. Oxalate synthesis from bicarbonate by the mycorrhizal fungus *Paxillus involutus*. *Plant and Soil* 110: 3–8. 1988.

LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S. & KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. *Anais 29 Congresso. Brasil. Geol.*, BH, p: 137 – 145. 1976.

LIU, Q.; LOGANATHAN, P.; HEDLEY, M. J. Influence of Ectomycorrhizal Hyphae on Phosphate Fractions and Dissolution of Phosphate Rock in Rhizosphere Soils of *Pinus radiata*, *Journal of Plant Nutrition*, 28:9, 1525-1540. 2005.

LORI, M., PITON, G., SYMANCZIK, S. et al. Compared to conventional, ecological intensive management promotes beneficial proteolytic soil microbial communities for agro-ecosystem functioning under climate change-induced rain regimes. *Sci Rep* 10, 7296 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64279-8>

MACÍAS, M. A.; RIAÑO, L. C. E. Café orgânico: caracterización; torrefacción y enfriamiento. *Cenicafé*, Chinchiná, v.53, n.4, p.281-292, 2002.

MALAJCZUK, N.; CROMACK, J. R. K. Accumulation of calcium oxalate in the mantle of ectomycorrhizal roots of *Pinus radiata* and *Eucalyptus marginata*. *New Phytologist*. 92: 527–531. 1982.

MALTA, M. R.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Avaliação da qualidade do café (*Coffea arabica* L.) fertilizado com diferentes fontes e doses de potássio. *Revista Brasileira de Armazenamento*, Viçosa, v.5, p.9-14, 2002.

MALTA, M.R.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G.; SILVA, F.A. de M. Composição química, produção e qualidade do café fertilizado com diferentes fontes e doses de nitrogênio. *Ciência & Agrotecnologia*, Lavras, v.27, n.6, p.1246-1252, 2003.

MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; CHAGAS, S. J. R.; FERREIRA, D. F. Qualidade sensorial do café de lavouras em conversão para o sistema de produção orgânico. *Bragantia*, Campinas, v. 67, p. 775-783, 2008.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 5, p. 1448-1456, set./out. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500010>

MANNING, D. A. C. Why do crushed silicate rock fertilizers sometimes not work? *Anais. II Congresso Brasileiro de Rochagem*. Poços de Caldas, Minas Gerais. 399p. 2013.

MARQUES, V. L.; MARQUES, S. S. Rochagem no sul dos estados do Maranhão e Piauí. *Anais. II Congresso de Rochagem*. Poços de Caldas, Minas Gerais. 399p. 2013.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. *Cultura de Café no Brasil – Novo Manual de Recomendações*.



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, DA PECUÁRIA E DO ABASTECIMENTO – SARC/PROCAFÉ – SPC/DECAF. Fundação PROCAFÉ. Rio de Janeiro– RJ e Varginha – MG, 2002.

MELO, W. J.; PIZAURO-JÚNIOR, J. M. Efeito da adição de resíduos das culturas de sorgo a lab-lab sobre a atividade de hidrolase a amilase de um Latossolo Vermelho Escuro - fase arenosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Belém, Resumos... Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.69. 1985.

MERSI, W.V.; KUHNERT-FINKERNAGEL, R.; SCHINNER, F. The influence of rock powders on microbial activity of three forest soils *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 155 (1), 29-33. 1992.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. Impacto do sistema de plantio direto na diversidade de fungos micorrízicos arbusculares nativos em solos de Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, (Embrapa Cerrados, Comunicado técnico 135). 4 p. 2007.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61: 281-295. 2004.

MOREIRA, R. J. Críticas ambientalistas à Revolução Verde. *Estudos Sociedade e Agricultura*, v. 8, n. 2 . 2013.

MUTUAL, P.K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C.A.; VERCHOT, L. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 71: 43-54. 2005.

NAIR, P. K. R.; BURESH, R.J; MUGENDI, D. N.; LATT, C. R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. p. 1-31. In: BUCK, L. E.; LASSOIE, J.P.; FERNANDES, E. C. M., eds. *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1999.

NDIAYE E. L.; SANDENO J. M.; MCGRATH D.; DICK R. P. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *Am J Altern Agric* 15:26–36. 2000.

NOTARO, K. A.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; SILVA, A.; MOURA, P. M. Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, vol.71, 2014.

OLIVEIRA, P. D.; BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; GIOMO, G. S.; LIMA, R. R.; CARDOSO, R. A. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. *Coffee Science*, v. 8, n. 2, p. 211- 220, 2013.

OLIVEIRA, R.M. Quintais e uso do solo em propriedades familiares. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 118 p. 2015.

PALMAN, C. A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*, v.30, p.105-124, 1995.

PANTANO, G.; GROSSELI, G.M.; MOZETO, A.A.; FADINI, P.S. Sustentabilidade no uso do fósforo: uma questão de segurança hídrica e alimentar. *Quim. Nova*, Vol. 39, No. 6, 732-740. 2016. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20160086>

PEIXOTO, R.S.; CHAER, G.M.; FRANCO, N.; REIS JÚNIOR, F.B.; MENDES, I.C. & ROSADO, A.S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. *Antonie Leeuwenhoek*, 98:403-413, 2010.

PRETE, C. E. C. Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica* L.) e sua relação com a qualidade da bebida. 1992. 125p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP, Piracicaba.1992.

QUIRK, J.; BEERLING, D. J.; BANWART, S. A.; KAKONYI, G.; ROMERO-GONZALEZ, M. E.; LEAKE, J. R. Evolution of trees and mycorrhizal fungi intensifies

silicate mineral weathering. *Biology Letters*, 8 (6). 2012. <https://doi.org/1006 - 1011>.  
[ISSN 1744-9561](#)

RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. I.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Suprimentos de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*, v. 9, n. 1, p. 19-42, 2006.

RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; GONZALEZ, M.C.A.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. *Agroforestry Systems in Europe: Productive, Ecological and Social Perspectives*. 2008.

ROCHELEAU, D. Confronting complexity, dealing with difference: social context, content, and practice in agroforestry. In: Buck, L.E., Lassoie, J.P., Fernandes, E.C.M. (Eds.), *Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 191–233.1999.

RODRIGUES, A. F. S.; FONSECA, D. S.; PARAHYBA, H. R. E.; CAVALCANTE, V. M. M. Agrominerais: recursos e reservas. In: FERNANDES, F. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Ed.). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 23-44. 2010.

ROSMARIN, A. The Precarious Geopolitics of Phosphorous, Down to Earth: Science and Environment *Fortnightly*, 2004, pp. 27–31. 2004.

RUNGE-METZGER, A. Closing the Cycle: Obstacles to Efficient P Management for Improved Global Food Security. *SCOPE 54 – Phosphorus in the Global Environment – Transfers, Cycles and Management*. 1995.

SALAZAR, J. C. S.; BURGOS, E. R.; BAUTISTA, E. H. D. Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronomy*, v.64, n.4, p.342-348, 2015.

SATTER, M.A.; HANAFI, M.M.; MAHMUD, T.M.M.; AZIZAH, H. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphate rock on uptake of major nutrients by *Acacia mangium* seedlings on degraded soil. *Biol Fertil Soils* 42:345–349. 2006.

SILESHI, G.; SCHROTH, G.; RAO, M. R.; GIRMA, H. Weeds, diseases, insect pests, and tri-trophic interactions in tropical agroforestry. p. 73-94. In: Batish, D.R.; KOHLI, R. K.; JOSE, S.; SINGH, H. P., eds. *Ecological basis of agroforestry*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2007.

SILVA, N. M. R. M. Diversidade microbiana e microbiota solubilizadora de fosfato em solos de cafezais orgânicos em sistemas agroflorestais e a pleno sol. Dissertação (Mestrado em AGROECOLOGIA) - Universidade Federal de Viçosa. 2017.

SILVEIRA A.P. D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular mycorrhiza and kinetic parameters of phosphorus absorption by bean plants. *Sci Agric* 61:203–209. 2004.

SILVEIRA, C. A. P., FERREIRA, L. H. G., PILLON, C. N. GIACOMINI, S. J. E SANTOS, L. C. Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico sobre a produtividade de grãos de dois sistemas de rotação de culturas. *Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem*. Brasília. Embrapa. Brasília/ DF. pp 215 – 219. 2010.

SMIL, V. *Feeding the World: A Challenge for the 21st Century*. The MIT Press, Cambridge. 2000a.

SOUZA, H. N.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, J. M.; GARCIA, F. C. P.; BONFIN, V. R.; SANTOS, A. C.; CARVALHO, F. A.; MENDONÇA, E. S. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Agroforestry systems*. 80:1-16. 2010.

SOUZA, H. N. D.; GOEDE, R.G.; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I. M.; DUARTE, E. M.; FERNANDES, R. B. A.; PULLEMAN, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 146: 179-196. 2012.

SOUZA, H. N.; CARDOSO, I. M.; SÁ MENDONÇA, E.; CARVALHO, A.F.; DE OLIVEIRA G. B.; GJORUP D. F.; BONFIM, V. R. Learning by doing: A participatory methodology for systematization of experiments with agroforestry systems, with an example of its application. *Agroforestry Systems*, 85 (2), pp. 247-262. 2012.

SOUZA, M. E. P.; CARVALHO, A. M. X., DELIBERALI, D. C.; JUCKSCH I., BROWN, G. G.; MENDONÇA, E. S.; CARDOSO, I. M. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. *Applied Soil Ecology*, 69:56-60. 2013.  
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.016>

SOUZA, M. E. P.; CARDOSO, I. M.; CARVALHO, A. M. X.; LOPES, A. P.; SILVA, P. H.; JUCKSCH, I. Vermicompostagem: potencializando as funções das minhocas. *Agriculturas*. v. 12 - n. 1. março 2015.

SOUZA, M. E. P., CARDOSO, I. M., CARVALHO, A. M. X., LOPES, A. P., JUCKSCH, I., JANSSEN, A. Rock Powder Can Improve Vermicompost Chemical Properties and Plant Nutrition: an On-farm Experiment, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2018.

SOUSA, K. et al.: The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Scientific reports*. 2019.

SOUSA, K., VAN ZONNEVELD, M., HOLMGREN, M. The future of coffee and cocoa agroforestry in a warmer Mesoamerica. *Sci Rep* 9, 8828. 2019.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-45491-7>

STEEN, I. Phosphorus availability in the 21st Century: management of a nonrenewable resource. *Phosphorus and Potassium* 217, 25–31. 1998.

STOTT, D.; ANDREWS, S.S.; LIEBIG, M.A.; WIENHOLD, B.J. & KARLEN, D.L. Evaluation of glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 74:107-119, 2010.

TEIXEIRA, H. M.; CARDOSO, I.M.; BIANCHI, F.; CRUZ SILVA, A.; JAMME, D.; & PEÑA-CLAROS, M. Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic forest. *Forest Ecology and Management*. 457. 2019.

THEODORO, S. M. C. H. A Fertilização da terra pela Terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. 2000. 221 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

THEODORO, S. H., O. LEONARDOS, E. L. ROCHA; K. G. REGO. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço & Geografia* 9:263–92. 2006.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; MEDEIROS, F. de P.; TALINI, N. L.; SANTOS, F. dos; OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. Anais... Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013. p. 32-42.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Stonemeal: principles, potencial and Perspective from Brazil. In: Goreau, T. J., Larson, R. W. and Campe, J. *Geotherapy: Innovative methods of soil fertility restoration, carbon sequestration and reversing CO2 increase*. CRC Press. USA. p. 403-418. 2014.

THEODORO, S. H.; MEDEIROS, F. P. de. Uso de remineralizadores na recuperação de áreas degradadas: estudo de caso do reservatório de Três Marias/MG. *Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; 2016.

THEODORO, S. H., MEDEIROS, F. P., IANNIRUBERTO, M., JACOBSON, T. K. B. Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. *J. S. Am. Earth Sci.* 103014. 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103014>

TIAN, Y.; CAO, F.; WANG, G.; ZHANG, W.; YU, W. Soil Microbiological Properties and Enzyme Activities in Ginkgo-Tea Agroforestry Compared to Monoculture. *Forest Res* 1:107. 2012. <https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000107>

TUMWEBAZE, S.B.; BEVILACQUA, E.; BRIGGS, R.; VOLK, T. Soil organic carbon under a linear simultaneous agroforestry system in Uganda. *Agroforestry Systems* 80: 1-13. 2012.

UDAWATTA, R. P.; KREMER, R. J.; ADAMSONA, B. W.; ANDERSON, S. H. Variations in soil aggregate stability and enzyme activities in a temperate agroforestry practice *Applied Soil Ecology*. Volume 39, Issue 2. Pages 153-160. 2008.

VAN SCHÖLL, L.; KUYPER, T.W., SMITS, M.M. ET AL. Rock-eating mycorrhizas: their role in plant nutrition and biogeochemical cycles. *Plant Soil* 303, 35–47 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9513-0>

VAN STRAATEN, P. V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, n. 4, p. 731-747, Dec. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400009>

VEZZANI, F.M. & MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:743-755, 2009.

WALLANDER, H. Mineral dissolution by ectomycorrhizal fungi. In: Gadd GM (ed) *Fungi in biogeochemical cycles*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 328–343. 2006.

## CAPÍTULO I

### **PÓS DE ROCHA: UMA TECNOLOGIA QUE AUXILIA NOS PROCESSOS DE TRANSIÇÃO AGROECOLÓGICA**

#### **RESUMO**

No Brasil é frequente a busca de alternativas ao uso de fertilizantes que sejam mais sustentáveis, acessíveis localmente e financeiramente viáveis, como os pós de rocha. Porém, essa tecnologia segue pouco conhecida quanto as diversas formas de utilização e as técnicas mais eficientes que possam acelerar a disponibilização de nutrientes desses materiais. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar e analisar as iniciativas de uso de pós de rocha pelos agricultores familiares em transição agroecológica na Zona Mata mineira. A coleta de dados foi realizada através da observação em rodas de conversa e diálogos sobre a temática dos pós de rochas em eventos agroecológicos ocorridos na região entre 2018 e 2021, como a Troca de Saberes, na Universidade de Viçosa, Intercâmbios Agroecológicos, Mutirões nas propriedades rurais e uma pesquisa participativa com uso de pó de rocha, desenvolvida com agricultores em trabalho de doutorado. Os eventos agroecológicos contribuíram para visibilizar o reconhecimento dos saberes daqueles que lidam com a terra e sobre a importância de tecnologias dos pós de rocha, que contribuem para melhorar a qualidade do solo. Estes eventos foram úteis também para apontar novos caminhos de pesquisa.

Palavras-chave: solos, manejo agroecológico, metodologias participativas, pesquisa-ação.



## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o número de agricultores que estão fazendo a transição agroecológica é crescente. A agroecologia enquanto ciência é entendida como o estudo dos sistemas agroalimentares e tem o objetivo explícito de transformar sistemas agroalimentares em direção à sustentabilidade, de modo que haja um equilíbrio entre robustez ecológica, viabilidade econômica e justiça social (GLIESSMAN, 2015). Entretanto, a agroecologia é também entendida enquanto movimento e prática (Wezel et al., 2009). Enquanto movimento, busca-se as transformações sociais e ecológicas complexas necessárias para a promoção da sustentabilidade dos sistemas agroalimentares (GLIESSMAN, 2000). Em sua dimensão técnica a agroecologia compreende todos os aspectos operacionais relacionados ao sistema agroalimentar, ou seja, que vão do solo e semente à mesa do consumidor e a ciclagem dos resíduos. Portanto, agroecologia não se refere apenas as técnicas utilizadas pelos agricultores no manejo de seus agroecossistemas, mas trata-se, também de uma proposição científica e política, que transcende aos aspectos operacionais e questiona a lógica produtiva e hegemonia presente na agricultura atual (WEZEL et al., 2009).

A agroecologia, enquanto ciência, não pode ser separada de suas outras dimensões: prática agrícola e movimento social, bem como de uma quarta dimensão, a de projeto político capaz de levar ao desenvolvimento de um novo sistema agroalimentar, baseado na soberania alimentar, com segurança alimentar e justiça social (LACEY, 2019).

Um dos princípios da agroecologia é o diálogo entre os saberes populares e o conhecimento científicos, o que para ocorrer necessita do fortalecimento de ações contra hegemônicas que reconheçam epistemologias invisibilizadas pela ciência dominante, que se auto reconhece como moderna, portadora do único conhecimento válido, universal e fonte inesgotável de progresso tecnológico e de desenvolvimento (LARANJEIRA et al., 2019). Para a promoção do diálogo de saberes, o pesquisador deve imergir nas relações sociais comunitárias, para procurar compreender o conhecimento local, suas fundamentações e premissas básicas, que orientam uma série de processos e práticas sociais, necessários aos processos de construção do conhecimento agroecológico (COTRIM; DAL SOGLIO, 2016) e de sistemas agroalimentares sustentáveis. Para a promoção do diálogo de saberes a ciência agroecológica, ao contrário da ciência hegemônica, utiliza-se de metodologias

sensíveis ao contexto ecológico, humano e social para estudar as várias dimensões do sistema agroalimentar, tais como produção, renda, acesso a mercados e qualidade de produtos; saúde social e qualidade de vida e respeito aos direitos humanos; relações entre seres humanos; sustentabilidade ecológica e conservação da biodiversidade, solo e água e; fortalecimento da autonomia e da cultura dos territórios. Tais estudos auxiliam na recuperação e mitigação de problemas ambientais que assolam a agricultura atual, como por exemplo, a poluição dos solos e da água por agrotóxicos e fertilizantes (SANTOS et al., 2014).

No que refere aos fertilizantes, há ainda questões econômicas e sociais envolvidas, já que o Brasil depende da importação de grande parte dos principais fertilizantes utilizados na agricultura com preços dependentes do mercado internacional. Por isso, a busca de alternativas ao uso de fertilizantes que sejam mais sustentáveis, acessíveis localmente e financeiramente viáveis é necessária. Dentre estas alternativas encontram-se os pós de rocha, (THEODORO, 2000) também conhecidos como remineralizadores.

Segundo a Lei nº 12.890 de 2013 (BRASIL, 2013), remineralizador é todo material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho de partícula por processos mecânicos e que, aplicado ao solo, altere os seus índices de fertilidade, por meio de adição de macronutrientes e micronutrientes para as plantas, e promova a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo. O uso de pós de rocha é permitido pela legislação que regula a agricultura orgânica (Lei nº 10.831 de 2003), por não serem altamente solúveis.

Os pós de rochas possuem potencial de remineralizar os solos e melhorar os seus níveis de fertilidade porque a adição de macro e micronutrientes aumenta a reserva nutricional do solo e favorece o reequilíbrio do pH do solo (CARVALHO, et al., 2018; BEERLING et al., 2018; THEODORO; LEONARDOS, 2006 e 2013; SOUZA et al., 2018; CICERI; ALLANORE, 2019).

A remineralização dos solos é também numa alternativa viável em termos ecológicos, econômicos e sociais. Em termos ecológicos, os nutrientes presentes nos pós de rocha são liberados gradualmente o que diminui as perdas por lixiviação e favorecem uma ação de longo prazo do insumo aplicado (LEONARDOS et al., 2000). Em termos econômicos, esses materiais geológicos são subprodutos da exploração mineral e podem diminuir a dependência da aquisição de fertilizantes no mercado

internacional. O uso dos pós de rocha favorecer ainda o comércio regional de insumos, pois preferencialmente deve se utilizar material geológico disponível localmente e de fácil acesso aos agricultores. Por isto, pesquisadores tem estudado o uso dos pós de rochas silicatadas, como o granito e o gnaisse, pois são as rochas mais comuns e amplamente distribuídas no Brasil (CARVALHO, 2012, CARVALHO et al., 2013; CARVALHO et al., 2018; SOUZA et al., 2018). É importante ressaltar que a regulamentação da Lei 12.890/2013, pela Instrução Normativa 06/2016, do MAPA, que estabelece entre as condicionantes e garantias mínimas dos remineralizadores a quantidade de 25% de sílica livre na forma de quartzo, pode inibir o uso de rochas que contenham mais quartzo (SiO<sub>2</sub>).

Diante da grande geodiversidade brasileira, muitos subprodutos das atividades de mineração ainda não foram totalmente investigados quanto aos seus potenciais e limitações, e por isto, são pouco utilizados na agricultura. Alguns desses subprodutos podem apresentar restrições devido à presença de metais pesados. Adubações contínuas e em grandes quantidades com pós de rochas podem representar risco de adição de elementos potencialmente tóxicos, como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e mercúrio (Hg), entre outros. Segundo Carvalho (2012), as rochas podem apresentar teores expressivos de um ou mais elementos tóxicos, como é o caso do esteatito (pedra-sabão), que pode possuir níveis de Ni acima de 1.500 mg kg<sup>-1</sup>. Porém, não necessariamente esse elemento será disponibilizado para as folhas e frutos das plantas, como demonstrado por Souza et al. (2018). Por isto, novos estudos sobre a biodisponibilidade desses elementos são necessários, uma vez que, em muitos casos, mesmo que eles estejam presentes na rocha eles permanecem inertes ou presos na rede cristalina dos minerais e não são absorvidos pela planta em quantidades que possam comprometer a saúde ou a qualidade dos alimentos.

Por serem matérias de fácil acesso, o uso dos pós de rocha contribui para a autonomia dos agricultores familiares, especialmente àqueles que estão em transição para o cultivo orgânico e agroecológico (THEODORO, 2000; ALMEIDA et al., 2007; CARVALHO, 2012; SOUZA et al., 2014; SOUZA et al., 2018; CUPERTINO et al., 2016). Muitos agricultores agroecológicos da Zona da Mata mineira, em transição para a produção de café orgânico, já utilizam pós de rochas gnáissicas em seus sistemas produtivos e já estão envolvidos com pesquisas científicas relacionadas a eles (CUPERTINO et al., 2016; SOUZA et al., 2018 CARVALHO, 2012). Os agricultores afirmaram que a utilização dos pós de rocha é uma alternativa para substituir os

fertilizantes químicos, reduzir os custos de produção e a dependência de insumos externos e para auxiliar nos processos de recuperação de solos degradados (CUPERTINO et al., 2016), mas pode apresentar respostas mais lentas na liberação de nutrientes sem a presença de materiais orgânicos (THEODORO, 2000; CARVALHO, 2012; THEODORO; MEDEIROS, 2016). Entretanto, a liberação de nutrientes pode ser acelerada a partir da atuação de organismos, a exemplo das micorrizas arbusculares (CARVALHO, 2012) e minhocas (SOUZA et al., 2018).

As pesquisas desenvolvidas em propriedades da agricultura familiares de base agroecológica foram pioneiras na região e contribuíram para que os conhecimentos sobre os pós de rocha, suas formas de uso e suas vantagens pudessem tornar-se conhecidos por algumas comunidades, principalmente através dos intercâmbios agroecológicos (ZANELLI et al., 2015). Estas pesquisas utilizaram a metodologia pesquisa-ação que permite a realização de pesquisa contextualizadas, com a participação dos/as agricultores/as. Segundo Kemmis e McTaggart (1988) a pesquisa-ação é uma forma de investigação baseada em uma reflexão coletiva empreendida pelos participantes de um grupo social de maneira a melhorar a racionalidade e a justiça de suas próprias práticas sociais e educacionais, como também o seu entendimento dessas práticas e de situações em que essas práticas ocorrem. A pesquisa-ação ocorre de forma colaborativa e com a participação genuína dos beneficiários da pesquisa no desenvolvimento da análise e na tomada de decisões. Na pesquisa-ação, as metodologias qualitativas e quantitativas podem ser combinadas para serem mais precisas e relevantes nas avaliações de transições agroecológicas (TEIXEIRA et al., 2017), o que também se aplica aos estudos relacionados ao uso de pós de rocha no manejo do solo.

Segundo Sosa et al. (2012), o grande desafio para a disseminação da agroecologia não é a falta de técnicas adequadas de produção agroecológica, mas sim a não utilização de metodologias apropriadas para a disseminação de tais técnicas e de construção coletiva dos saberes. Tais metodologias devem propiciar processos educativos massivos e horizontais que rompam com a hierarquização dos saberes. Nos intercâmbios agroecológicos, além da disseminação do conhecimento, novas perguntas de pesquisa e a possibilidade de realizar pesquisas contextualizadas também surgem (ZANELLI et al., 2015; LARANJEIRA et al., 2019).

A pesquisa participativa como estratégia metodológica para a construção coletiva do conhecimento agroecológico pode ser parte dos processos de pesquisa-

ação (ANDERSON et al, 2018). A pesquisa participativa possibilita compartilhar conhecimentos sobre processos ecológicos, econômicos e sociais ligados a interesse distinto das partes interessadas na busca da superação de desafios locais a partir de oportunidades locais (SOUZA et al., 2012). Esse desafio se estende aos agricultores em processo de transição agroecológica, e inclui a disponibilidade local de fertilizantes permitidos pela legislação orgânica no uso e manejo dos solos (CARVALHO, 2012).

O solo, como compreendido pela agroecologia, é um organismo vivo que interage dinamicamente com a biodiversidade para reproduzir a vida (PETERSEN, 2008). O manejo do solo enquanto organismo vivo exige conhecimento e sensibilização das pessoas, tanto no campo individual quanto no coletivo, na qual atitudes de desrespeito e em relação aos solos precisam ser revistas e (re)construídos, em processos de aprendizados continuados para que ocorram mudanças efetivas no manejo dos solos (MUGGLER, 2014). A aprendizagem ocorre a partir do coletivo, nas reflexões em grupo, nas relações interpessoais e nas interações dialógicas (MION, 2002), e a partir daí, ocorrem momentos individuais, nos quais o sujeito constrói e reconstrói o seu conhecimento e reflete sobre ela. Para estas reflexões em grupo, os eventos comunitários são importantes e auxiliam os agricultores a realizarem a transição agroecológica.

Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar e analisar as iniciativas de uso de pós de rocha pelos agricultores familiares na transição agroecológica na Zona Mata mineira. Especificamente, objetivou-se identificar: i) as principais técnicas, as principais impressões e aprendizados e os principais desafios na utilização dos pós de rocha e; ii) novas perguntas de pesquisa sobre o uso dos pós de rocha.

## **2. METODOLOGIA**

Na pesquisa utilizou-se a metodologia da pesquisa-ação. Segundo Tripp (2005), a pesquisa-ação é definida como toda tentativa continuada, sistemática e empiricamente fundamentada de aprimorar a prática. No ciclo da pesquisa-ação, os atores sociais apontam os problemas, propõe ações, refletem sobre as ações e apontam novos problemas que possibilitam a articulação entre o saber cotidiano do agricultor/as e o conhecimento científico, a partir da promoção do diálogo de saberes e de pesquisas contextualizadas, fundamental na construção dos saberes agroecológicos.

A “Pesquisa-ação” é uma metodologia de pesquisa social, com base empírica, realizada em associação com uma resolução coletiva de um ou mais problemas (THIOLLENT, 1992). A pesquisa-ação facilita ainda a prática da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão.

A pesquisa-ação foi desenvolvida em na região da Zona da Mata, entre 2018 e 2020, em vários eventos agroecológicos realizados na região. Estes eventos incluíram a Troca de Saberes, realizada anualmente em Viçosa, os Intercâmbios Agroecológicos e os Mutirões de Transição para o Café Orgânico realizados principalmente em Divino, Minas Gerais. Em Divino, o Sindicato dos Trabalhadores da Agricultura Familiar (SINTRAF), desde sua criação em 1987, tem trabalhado em parceria com o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV). Dentre as atividades, vários eventos são organizados em Divino, dentre eles, os Intercâmbios Agroecológicos e os Mutirões de Transição para o Café Orgânico.

Os eventos reúnem, em geral, pessoas interessadas na temática da agroecologia. Durante estes eventos, as informações foram identificadas registradas e, posteriormente, analisadas. Ainda durante estes eventos, os agricultores indicaram a necessidade de aprofundar o entendimento sobre a utilização de pós de rocha de solos. Para isto, decidiu-se realizar a experimentação participativa com pós de rocha em propriedades rurais de alguns agricultores em processo de transição agroecológica e participantes do SINTRAF, em Divino, MG.

## **2.1 Os eventos de base agroecológica**

### **2.1.1 Troca de Saberes**

O evento Troca de Saberes (Figura 1) é realizado anualmente desde 2009 na Universidade Federal de Viçosa e tem a duração de três dias (BARBOSA et al., 2017). A Troca de Saberes reúne agricultores e agricultoras de comunidades rurais, juntamente com suas famílias, povos tradicionais, incluindo indígenas e quilombolas, movimentos sociais, estudantes da universidade e das escolas de família agrícola da Zona da Mata, professores, artistas, grupos de representação cultural, como congado e maracatu, visitantes da comunidade de Viçosa entre outros. O evento é regional, mas têm atraído a atenção de pessoas de todo o país. O encontro tem como objetivo

promover o diálogo entre o saber popular e o conhecimento científico. Muitas pessoas que participam do evento são portadoras de experiências em agroecologia.

O evento utiliza metodologias que promovem o diálogo de saberes, como rodas de conversa (Figura 1A) e Instalações Artístico-Pedagógicas (Figura 1B). As Instalações Artístico-Pedagógicas são ambientes construídos com a intencionalidade pedagógica de promover a interação entre os diferentes sujeitos, possibilitar o diálogo e a geração de novos saberes e reflexões (BARBOSA et al., 2017). Durante a Troca de Saberes as Instalações são construídas nas dependências da UFV, como salas de aulas, laboratórios, gramados, museus etc. Através dessas Instalações são

No evento de 2018 uma das Instalações Artístico-Pedagógica denominada “Vida e abundância na sombra das árvores” abordou a importância do manejo agroecológico do solo e da diversidade de plantas, em especial as árvores, no favorecimento da vida e dos processos ecológicos do solo. A Instalação foi realizada no Departamento de Solos da UFV e reuniu em torno de 30 pessoas. Fotografias, cartazes, plantas, encartes, objetos e outros elementos foram utilizados para ambientar a Instalação. Dentre os objetos encontravam-se alguns pós de rocha. A partir da interação dos participantes com os elementos da instalação, os diversos temas foram debatidos.

O tema dos pós de rocha foi abordado a partir dos problemas causados pela monocultura, adubação convencional com fertilizantes altamente solúveis e agrotóxicos à saúde das pessoas e ao ambiente, incluindo a qualidade dos solos e perdas da biodiversidade. A perda de biodiversidade foi especialmente realçada pelos participantes, pois afeta questões importantes como a segurança e soberania alimentar. Os participantes também apontaram o desafio de produzir utilizando adubos que sejam ao mesmo tempo eficientes e permitidos pela legislação de produção orgânica.

Alguns deles já possuíam experiências sobre os pós de rocha de solo e os bons resultados alcançados com o uso deles. Neste momento aprofundou-se o tema um pouco mais, a partir de informações científicas sobre o uso dos pós de rocha, o que propiciou trocas de saberes e conhecimentos importantes entre os participantes (Figura 1B). Os benefícios ambientais e econômicos, onde adquiri-los, como aplicá-los e sua associação com a técnicas de compostagem foram informações importantes dadas aos participantes. A vermicompostagem enriquecida com pós de rochas, como sugerido por Souza et al. 2018, foi uma das técnicas abordadas como

possibilidade de melhorar a eficiência dos pós de rocha para serem utilizados nos quintais produtivos e para produção de mudas.



Figura 1. Troca de Saberes, evento anual realizado na Universidade Federal de Viçosa. A: Grupo de discussão; B: Instalação artístico pedagógica sobre solos. Fotos: Julia Wanick.

### 2.1.2. Intercâmbios agroecológicos

Em 1987, na região da Zona da Mata de Minas Gerais, agricultores organizados em Sindicatos de Trabalhadores Rurais, junto com estudantes e técnicos/as recém-formados/as pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), fundaram o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) que juntos constroem desde então a agroecologia na região (MAURI et al., 2017). Desde então, muitos projetos de ensino, extensão e de pesquisa-ação foram e são executados de forma articulada entre o CTA, a UFV e as organizações de trabalhadores/as rurais da região. Na trajetória de fortalecimento e ampliação da agroecologia, esta parceria tem enfrentado uma série de desafios técnicos, científicos e metodológicos (CARDOSO e FERRARI, 2006), e, para superar tais desafios, em 2008, tais parceiros iniciaram, em 2008, na região os intercâmbios agroecológicos (MOREIRA et al., 2009). Os intercâmbios agroecológicos articulam diversos instrumentos pedagógicos para a análise de agroecossistemas, alguns presentes nos diagnósticos rurais participativos, como a caminhada transversal, e outros já consagrados na educação popular, como os círculos de cultura, propostos por Paulo Freire (ZANELLI et al., 2017). Enquanto ambientes educativos, os intercâmbios demonstram grande potencial na construção



do conhecimento agroecológico, inclusive para aqueles que estão no início da transição.

Os intercâmbios agroecológicos são promovidos pelo Sindicato dos Trabalhadores na Agricultura Familiar (SINTRAF), em parceria com o CTA e UFV em alguns municípios da Zona da Mata mineira, dentre eles Divino. Nos intercâmbios participam agricultores, professores, estudantes, pesquisadores e outros interessados na temática da agroecologia que se reúnem em momentos de trocas de saberes e conhecimentos. Os intercâmbios ocorrem em uma propriedade da agricultura familiar, nos territórios camponeses e podem ser compreendidos em 10 passos (ZANELLI et al., 2015): 1) mobilização; 2) mística de abertura; 3) apresentação dos participantes; 4) história da família/comunidade; 5) caminhada pela propriedade e ou oficinas; 6) socialização das observações feitas durante a caminhada, utilizando círculo de cultura; 7) trocas de sementes e mudas; 8) informes e encaminhamentos; 9) merenda agroecológica e 10) mística de encerramento.

Nos intercâmbios, temas como manejo agroecológico do solo e da água, homeopatia, plantas medicinais, compostagem, adubação orgânica, sementes crioulas, dentre outros. Durante alguns intercâmbios, oficinas podem ser realizadas com temas escolhidos em comum acordo com os agricultores (Figura 2).



Figura 2. A: Intercâmbio Agroecológico realizado em uma propriedade da agricultura familiar. B: Aniversário de 10 anos de intercâmbios agroecológicos em Divino. Foto: Julia Wanick.

As questões sobre do cultivo agroecológico do café estão sempre em pauta nos intercâmbios. Isso porque, cada vez mais, os agricultores têm utilizado a cafeicultura orgânica como principal fonte de renda, e por isso, eles têm intensificado as técnicas

de manejo, principalmente no que se refere à adubação. Além de maior biodiversidade nos sistemas, com os sistemas agroflorestais, por exemplo, a adubação tem sido um dos pontos centrais de mudança, que é um dos desafios da produção orgânica. Os pós de rocha têm se apontados pelos agricultores como importante tecnologia a ser utilizada para a nutrição das plantas, devido as suas características, como preços acessíveis na região, facilidade de aplicação e aceitação pela legislação da agricultura orgânica. Entretanto, os agricultores também apontam a necessidade de aprofundamento sobre a tecnologia. Para isto, foi feita a proposta de experimentação participativa com os pós de rocha.

### 2.1.3. Mutirões agroecológicos

Os Mutirões de Transição para o Café Orgânico iniciaram em 2016. Neles um grupo de agricultores/as que tem se dedicado à certificação participativa do café (Figura 3) se reúnem para trabalhar juntos e colocar em prática os aprendizados adquiridos nos eventos agroecológica. No processo organizativo deste grupo eles realizam mutirões que se revezam entre as propriedades dos participantes para executar alguma atividade específica de manejo do café, como podas das árvores, roçagem da vegetação espontânea, aplicação de adubos, colheita do café e preparação de biofertilizantes, inclusive utilizando pós de rocha. Com os pós de rocha, os agricultores fazem bokashis, colocam no minhocário e nos currais, onde inicia o processo de compostagem ou aplicam diretamente nas lavouras.



Figura 3: Momento de um mutirão para trabalhos com o cultivo de café orgânico, na propriedade de um agricultor familiar no município de Divino. Foto: Gilvânia Domiciano.

Nos mutirões há ainda momentos de compartilhar informações, reflexões e divulgação de eventos agroecológicos. Nestes momentos, trocam informações sobre as técnicas de preparo e adubação das lavouras utilizando os pós de rocha, seus efeitos nas plantas, dúvidas, locais de compra confiáveis e problemas a serem resolvidos.

#### **2.1.4. Experimentação participativa com pós de rocha de solo**

Após os debates ocorridos e para analisar a eficiência dos pós de rocha, em 2018, em três propriedades rurais em processo de transição agroecológica no município de Divino (Zona da Mata, Minas Gerais) foi implantada um processo de experimentação participativa com pó de gnaiss em dois cafezais, manejados de forma agroecológica, sendo um em sistema agroflorestal e outro em sistema cafezal pleno sol com menos biodiversidade. No processo de experimentação parte do cafezal foi adubada e outra não com pó de gnaiss. Gnaiss é a rocha de maior ocorrência na Zona da Mata mineira e o pó de gnaiss é facilmente encontrado em pedreiras da região.

As famílias interessadas em participar da pesquisa foram escolhidas nas reuniões do Mutirão de Transição para o Café Orgânico. As famílias contribuíram no desenho do experimento, na escolha das áreas e na implantação dos experimentos. Elas contribuíram, por exemplo, com a divisão das parcelas e adubação dos cafés.



Figura 4. Alguns dos agricultores que participam da experimentação participativa com pós de gnaïsse em Divino, MG.

As áreas escolhidas (SAF e pleno sol) foram divididas em quatro blocos cada. Cada planta de café recebeu abaixo de sua copa 2 kg de pó de gnaïsse. Após a implantação, visitas foram realizadas à área experimental para os participantes observarem o experimento e, em rodas de conversa, expressarem seus aprendizados, benefícios e dificuldades do uso pós de gnaïsse em suas lavouras.

A experimentação participativa realizada nas propriedades rurais foi fruto de um processo coletivo de construção do conhecimento permitiu uma melhor compreensão dos pós de rocha de solo, a partir da observação dos efeitos dos pós de gnaïsse nas plantas e no solo, as famílias compreenderam melhor os efeitos dos pós de rocha e compartilham esta compreensão em outros momentos coletivos, a exemplo dos mutirões. Eles observaram que as plantas estão mais saudias e houve um aumento na produtividade das plantas, especialmente o café. Além disso, eles afirmaram que uma das vantagens dos pós de rocha é que não há necessidade de aplicação do pó de gnaïsse anualmente – como é feito na adubação convencional -, e, isso possibilitou não só a economia de recursos, mas o direcionamento desses recursos para outras questões importantes das famílias.

O processo de experimentação se deu a partir do reconhecimento dos saberes de todos os envolvidos. Acredita-se que com isto a construção coletiva do conhecimento foi possível a partir de ações educativas essencialmente libertadoras (FREIRE, 1979), pois propiciaram o empoderamento das pessoas e aperfeiçoamento do conhecimento delas, a partir de suas práticas de manejo do solo e uso dos pós de rocha como construção do conhecimento, a exemplo da aplicação dos pós de rocha diretamente no curral, tecnologia desenvolvida por um dos agricultores do SINTRAF, e disseminado durante as reuniões da associação e nos mutirões.

### **3. PRINCIPAIS LIÇÕES APONTADAS**

Durante os eventos agroecológicos identificou-se que os agricultores estão utilizando com sucesso algumas técnicas de aplicação dos pós de rocha, e os participantes dos eventos aprenderam e trocaram conhecimentos sobre os pós de rocha.

Pereira et al. (2017) verificaram que há várias formas de preparar compostos em propriedades de agricultura familiar, demonstrando a grande criatividade e eficiência dos agricultores na produção de seus adubos, e com a utilização dos pós de rocha de solo não foi diferente (Tabela 1). Os pós de rocha foram sempre associados com uma fonte de matéria orgânica e foram aplicados principalmente na horta e cafezais (Tabela 1). Além disso, as técnicas de utilização dos pós de rocha apontadas pelos participantes dos eventos (Tabela 1) permitem afirmar que as pesquisas científicas realizadas na Zona da Mata mineira (CARVALHO, 2012; CUPERTINO et al., 2016; SOUZA et al., 2018;) contribuíram para ampliar o conhecimento dos agricultores que participaram dos eventos. Isto porque muitas destas técnicas foram objetos de intercâmbios e pesquisas anteriores, a exemplo da técnica de compostagem associada aos pós de rocha.

Tabela 1. Técnicas de utilização dos pós de rocha de solo identificadas durante eventos agroecológicos.

<b>Evento</b>	<b>Técnicas de utilizadas</b>
<b>Troca de saberes</b>	Mistura do remineralizador com esterco no minhocário e na composteira doméstica
<b>Mutirões agroecológicos</b>	Compostagem do remineralizador no curral (misturado com esterco e palhada); Compostagem com minhoca; Adubação foram feitas na horta; debaixo das plantas de café; antes das podas das árvores e do café; nas entrelinhas do café com o plantio de leguminosas
<b>Intercâmbios agroecológicos</b>	Trocas de receitas de biofertilizantes e bokashi com o uso de pós de rocha
<b>Experimentação participativa</b>	Pós de rocha misturados com esterco

A vermicompostagem mostrou-se uma técnica importante para acelerar a disponibilização de nutrientes dos pós de rocha (SOUZA et al., 2018). A mistura dos pós de rocha durante no processo de compostagem auxilia na liberação dos nutrientes, como no caso da vermicompostagem onde os minerais, presentes no pó de rocha, ao passarem pelo trato intestinal das minhocas podem, devido a ação



enzimática e a trituração dos materiais, sofrer intemperismo químico (CARPENTER et al., 2007) e físico (SUZUKI et al., 2003).

Durante um dos mutirões agroecológicos, uma agricultora afirmou que “as minhocas comem o pó de rocha e o esterco com palha”, que “gerava um composto soltinho, fácil de usar na horta de casa e nos vasos de flor”. Entretanto, para ser usada em toda a lavoura de café exige-se uma grande quantidade, portanto, mais mão de obra para produzir o vermicomposto. Assim, os participantes apontaram que preferem utiliza-lo em áreas mais próximas da casa, como nos quintais e hortas.

Na adubação do cafezal os/as agricultores/as aplicam pós de gnaïsse diretamente sob a copa do café, e posteriormente lançam esterco animal. Há ainda os que espalham os pós de rocha no curral e adicionam sobre eles palhas, dentre elas de milho e café (Tabela 2). As fezes dos animais, a palha e o remineralizador são misturados pelos próprios animais ao caminharem pelo curral, em um processo simples de compostagem com pouca necessidade de mão-de-obra, possibilitando o balanço do carbono e do nitrogênio (C/N), importantes nutrientes para as plantas. A palhada contribui para o balanço C/N (carbono/nitrogênio) do composto, o que evita a perda de N (KIEHL, 2004; LIANG et al., 2005).

Essas tecnologias e inovações propostas pelos agricultores se adequam à realidade de trabalho e à região, e muitas vezes são aperfeiçoadas e reelaboradas através das trocas de informações geradas nesses encontros, como ocorre nos mutirões agroecológicos, que são mais frequentes, quando comparado aos demais eventos aqui abordados. Os mutirões são momentos construção de conhecimento e socialização entre os participantes (OLIVEIRA et al., 2018) e na observação dos efeitos dessas tecnologias aplicadas no campo.

Durante os eventos os participantes apontaram vários aprendizados com os pós de rocha. Segundo eles, com os pós de rocha as plantas ficam mais fortes e saudáveis e produzem mais (Tabela 2), o que tem, portanto, contribuído para o desenvolvimento de agroecossistemas saudáveis e mais produtivo. A maior produção de alimentos com os pós de rocha, (Tabela 2) é uma alternativa para aumentar a segurança e soberania alimentar e nutricional (CICERI e ALLANORE, 2019), especialmente importante em um momento em que, segundo a FAO (2017a), 815 milhões de pessoas sofrem de desnutrição, o uso de acessíveis e sustentáveis. Além da importância na produção de alimentos, os pós de rocha, estão auxiliando agricultores em transição agroecológica na Zona da Mata mineira, incluindo a cafeicultura (MEDEIROS et al., 2020), um cultivo

importante para a geração de renda das famílias, já que o café é produzido especialmente para a comercialização. A produção com o uso de pós de rocha ocorre de forma mais autônoma, pois além deles serem produtos disponíveis localmente, com eles reduz-se a necessidade de adubação (THEODORO, 2000).

Os participantes também demonstraram compreender a importância de usar os pós de rocha em sistemas mais diversificados, como nos sistemas agroflorestais (Tabela 2). Entre as inúmeras vantagens dos SAFs, destaca-se a multifuncionalidade das árvores nas áreas de produção e não apenas no aumento da profundidade e do volume das raízes que exploram o solo (RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2009), mas, também, contribui para melhorar as características químicas, biológicas e físicas do solo. A deposição de serapilheira nos SAFs é responsável por acréscimos significativos ao conteúdo da matéria orgânica do solo (NOTARO et al., 2014; HERGOUALC'HA et al., 2012; TUMWEBAZE et al., 2012).

Tabela 2. Principais aprendizados identificados durante os eventos agroecológicos.

Eventos	Aprendizados
<b>Troca de Saberes</b>	Muitas técnicas de compostagem, como as misturas, seja no minhocário, com esterco no curral, composição de bokashis e biofertilizantes podem favorecer a disponibilização mais rápida dos nutrientes dos pós de rocha no solo, inclusive na composição de substratos na produção de mudas.
<b>Mutirões agroecológicos</b>	<p>A aplicação dos pós de rocha, compostados ou não, diretamente no berço no momento do plantio, e debaixo da copa do café, são formas comuns de uso dos mesmos</p> <p>Plantio de leguminosas na entrelinha do café protegem o solo durante a entressafra, auxiliam na fixação de nitrogênio, e servem de cobertura posteriormente. Logo antes do corte das plantas de cobertura é feita a adubação com o pó de rocha</p> <p>Sistemas com maior diversidade de plantas, como bananeiras e árvores frutíferas ou não, exigem podas. O material podado é colocado no solo, o que o deixa mais</p>

---

	<p>úmido e com mais vida e favorece a ciclagem dos nutrientes ao longo do tempo.</p> <p>Os pós de rocha podem ser utilizados para adubar os diversos tipos de plantas, inclusive as alimentícias, o que fortalece a soberania alimentar”</p>
<p><b>Intercâmbios agroecológicos</b></p>	<p>O solo apresentou maior capacidade de produção e as plantas ficaram mais vigorosas. Aplicação dos pós de rocha nos currais é uma a técnica utilizada e que pode ser recomendada.</p> <p>O pó de rocha dura mais tempo no solo do que o adubo convencional.</p>
<p><b>Experimentação participativa</b></p>	<p>Os efeitos percebidos foram: presença de diferentes tipos de matos (plantas indicadoras), que antes não apareciam devido à degradação do solo.</p> <p>As plantas estão crescendo mais rápido, visualmente mais saudáveis e vigorosas, com menos doenças, especialmente no café e as bananeiras.</p> <p>O café está produzindo frutos maiores e mais pesados, e em maior quantidade e qualidade da bebida.</p> <p>O pó de gnaisse ajudou no processo de transição agroecológica para certificação orgânica, e isso agregou maior valor ao café como produto.</p>

---

Os eventos fortalecem as redes de construção do conhecimento, incluindo os que se referem ao uso dos pós de rocha de solo, uma tecnologia nova ainda com muitas perguntas a serem respondidas e muitos desafios a serem superados. Estas redes possibilitam o aprendizado de relações horizontais entre técnicos, professores, estudantes e famílias agricultoras. Na Zona da Mata estas redes são dinâmicas e caracterizadas pelo entrelaçamento dos saberes populares e científicos (ZANELLI et al., 2015). Estas redes favorecem a indissociabilidade ensino, pesquisa e extensão, importante na construção de pesquisa contextualizadas, como desejada pela agroecologia (LARANJEIRA et al., 2019), e na superação dos desafios encontrados



na produção agroecológica. Os desafios apontados em relação à tecnologia, se articulado com um processo de construção do conhecimento, como propiciado nos eventos agroecológicos, se alinham com as etapas da pedagogia revolucionária, que se refere ao processo de aprendizado como prática de liberdade (FREIRE, 2014; SAVIANI, 2001).

Dentre os desafios para o uso dos pós de rocha de solo, os participantes apontaram a falta de crédito para adquirir os materiais, ou das dificuldades de transportar os pós de rocha na lavoura, por se tratar de um material pesado e a falta de informações a quantidade e a eficiência de determinado remineralizador em relação a determinada cultura (Tabela 3).

Tabela 3. Principais desafios relacionados ao uso de pós de rocha identificados nos eventos agroecológicos.

<b>Eventos</b>	<b>Desafios</b>
<b>Troca de Saberes</b>	Onde adquirir e como saber se o remineralizador daquela região será eficiente para o desenvolvimento das plantas.
<b>Mutirões agroecológicos</b>	Falta de crédito para compra de pós de rocha.
<b>Intercâmbios agroecológicos</b>	Custo alto para o transporte do remineralizador.  Necessidade de mais pesquisas que indiquem a quantidade de pó de rocha que se deve aplicar na lavoura e nas práticas de compostagem.  Dificuldades em ler e interpretar análises químicas dos pós de rocha e do solo.
<b>Experimentação participativa</b>	Os locais que comercializam o remineralizador não o vendem para fins agrícolas, e a granulometria do matérias não é a desejada (mais fina).  O material é pesado e difícil de carregar em áreas de maior declividade.

As pesquisas podem contribuir para superar tais desafios. Por exemplo, ao apontar a eficiência dos pós de rocha, as pesquisas podem contribuir para formulação

de políticas públicas que facilitem o crédito para a aquisição deles. Os desafios apontados (Tabela 3) e as pesquisas podem também se transformar em processos educativos que objetivem melhor entender as análises e o uso dos pós de rocha. Processos estes que certamente apontarão novos desafios. Esta dinâmica envolvendo problematização e busca conjunta de soluções constitui uma orientação importante para construção de conhecimentos (ZANELLI et al., 2015) e pode recorrer aos processos de experimentação participativa.

Os processos participativos e construções coletivas do conhecimento, como ocorridos nos eventos e na experimentação participativa, estimulam a diversidade sociocultural e política e a autonomia intelectual (JUNIOR et al., 2017). Os conhecimentos produzidos nos espaços acadêmicos são potencializados quando associados ao conhecimento e ações populares.

#### **4. CONCLUSÃO**

Os eventos agroecológicos contribuíram para visibilizar o reconhecimento dos saberes daqueles que lidam com a terra e sobre a importância de tecnologias dos pós de rocha, que contribuem para melhorar a qualidade do solo. Estes eventos foram úteis também para apontar novos caminhos de pesquisa.

O entendimento da importância do uso dos pós de rocha de solo segue em debate, e a parceria entre agricultores e pesquisadores pode contribuir para o melhor entendimento e aperfeiçoamento das práticas do uso desses materiais, além de apontar os desafios da ambientais, sociais e econômicas que envolvem o uso desta tecnologia e o seu potencial em prol de um desenvolvimento mais sustentável.

Os pós de rocha de solo, como propostos nesta pesquisa, são parte da construção da transição agroecológica, importantes para a mudança de paradigmas e buscas de superação de desafios as complexidades socioambientais e os desafios postos para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável. Para a superação destes desafios, como entendido pela agroecologia, há necessidade de uma nova postura epistemológica e o uso de metodologias diversas, que recorram a abordagens transdisciplinar e holística em suas propostas investigativas e interventivas.

#### **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALMEIDA, E. de; SILVA, F. J. P. da; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. *Agriculturas*, v. 4, n. 1, p. 7-10, mar. 2007.

ANDERSON, C.R.; MAUGHAN, C.; PIMBERT, M.P. Transformative agroecology learning in Europe: building consciousness, skills and collective capacity for food sovereignty. Springer. *Agriculture and Human Values*. Oct. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10460-018-9894-0>

BARBOSA, S.; COSTA, H.G.M.; SILVA, C.T.; BARBOSA, W.A.; PRONSATO, L. Quem educa a quem? A Troca de Saberes em Viçosa. *Cadernos de Agroecologia - ISSN 2236-7934 - Anais do II SNEA*, Vol. 12, Nº 1, jul. 2017.

BEERLING, D.J., LEAKE, J.R., LONG, S.P. et al. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants* 4, 138–147 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>

BRASIL. Lei no 12.890, de 10 de dezembro de 2013, 11 dez. 2013. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ Ato2011-2014/2013/Lei/L12890.htm). Acesso em: 16 dez. 2020

CARDOSO I. M., FERRARI E. A. Construindo o conhecimento agroecológico: trajetória de interação entre ONG, universidade e organizações de agricultores. *Revista Agriculturas*, v.3 nº 4. 2006, p.28.

CARPENTER, D.; HODSON, M. E.; EGGLETON, P.; KIRK, C. Earthworm-induced mineral weathering: preliminary results. *European Journal of Soil Biology*, 43, 176-183. 2007.

CARVALHO, A. M. X. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. PhD thesis, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 116 p. 2012.

CARVALHO, R. Desafios para a produção orgânica do ERJ. Cadernos do Desenvolvimento Fluminense, Rio de Janeiro, n. 4. 2014.

CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, E. E. P.; THEODORO, S. H. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: Solos e Agroecologia. Cap. 5. Embrapa. Brasília – DF, v. 4. P. 103-128. 2018.

CICCERI, D.; ALLANORE, A. Local fertilizers to achieve food self-sufficiency in Africa. Science of the Total Environment 648 (2019) 669–680. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.154>

COTRIM, D. S.; DAL SOGLIO, F. K. Construção do Conhecimento Agroecológico: Problematizando a noção. Revista Brasileira de Agroecologia, v.11, n.3, 2016.

CUPERTINO, M. do C.; SOUZA, M. E. P.; FRANCO, E. H.; CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M. Sistematização das experiências com pó de rocha na Zona da Mata mineira Cadernos de Agroecologia, [S.l.], v. 10, n. 3, may 2016. ISSN 2236-7934. ... 3 (2015): Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia. 2016.

FAO. The state of food security and nutrition in the World 2017. Building Resilience. for Peace and Food Security. Rome. 2017a.

FREIRE, P. Educação e mudança. 20. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1979.

FREIRE, Paulo. Pedagogia do Oprimido. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2014.

GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: UFRGS, 2000.

GLIESSMAN, S.R. Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems. 3rd Edition. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, Taylor & Francis Group. 2015.

HERGOUALC'HA, K.; BLANCHARTD, E.; SKIBAE, U.; HÉNAULTF, C.; HARMANDA, J.M. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*)

monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 15: 102-110. 2012.

JÚNIOR, P. P.; PEREIRA, A. J.; SANTANA, F. C.; SANTOS, L. F.; CARMO, D. L.; PRIORE, S. E.; CASALI, V. W. D. Café com Agroecologia: integrando conhecimentos. *Revista ELO - Diálogos em Extensão*. Volume 06, número 03. 2017.

KEMMIS, S.; McTAGGART, R. *Cómo planificar la investigación-acción*. Barcelona: Laertes, 1988.

KIEHL, E.J. *Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto*. 4ª ed. E. J. Kiehl. Piracicaba. 173 p. 2004.

LARANJEIRA, N. P.; CARCELLE, S.; MIRANDA, D.; ABREU SÁ, T. D.; TRENTO, L. G.; SOUZA, T. S.; CARDOSO, I. M. Para uma ecologia de saberes: trajetória da construção do conhecimento agroecológico na associação brasileira de agroecologia. ISSN: 1980-9735. Vol. 14. Nº. 2 Esp. p.65-79. 2019. <https://doi.org/10.33240/rba.v14i2.22959>

LACEY, H. Agroecologia como ciência e diálogos intepistêmicos, In: *Workshop perspectivas do ensino, pesquisa e extensão em agroecologia no brasil, 2019, Brasília*. Vídeo... ABA Agroecologia, 2019.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.C.H.; ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a brasilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Dordrecht, v.56, p.3-9, 2000.

LIANG, Y.; LEONARD, J.J.; FEDDES, J.J.R.; MCGILL, W.B. Influence of carbon and buffer amendment on ammonia volatilization in composting, *Bioresource Technology*, Volume 97, Issue 5, 2006, Pages 748-761, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.041>

MAURI, R; ZANELLI, F.V.; CARDOSO, I.M.; AMORIM, G.D; CARLESSO, A. Intercâmbios agroecológicos: aprendizados coletivos e assistência técnica

compartilhada. A experiência de Divino - Minas Gerais. Cadernos de Agroecologia - ISSN 2236-7934 - Vol. 12, No. 1, abr. 2017.

MEDEIROS, F. P.; CARDOSO, I. M.; VIEIRA, M. S. S. Experimentação participativa com pó de rocha. Cadernos de Agroecologia - ISSN 2236-7934 – Edição Especial V Simpósio Mineiro de Ciência do Solo: Agroecologia e a Compreensão do Solo como Fonte e Base para a Vida. Vol. 15, N° 1, 2020.

MION, R. A. Investigação-ação e a formação de professores em física: o papel da intenção na produção do conhecimento crítico. 238 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

MOREIRA, V. D. L.; SILVA, B. M.; DAYRELL, L. S.; CARNEIRO, J. J. Intercâmbios para Troca de Saberes – Fortalecendo a Agroecologia na Zona da Mata de Minas Gerais. Rev. Bras. De Agroecologia/nov. 2009 Vol. 4 No. 2. 2009.

MUGGLER, C. C. Educação em solos em movimento: do discurso a prática. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, n. 2, p. 16-20, maio/ago. 2014.

NOTARO, K. de A. MEDEIROS, E. V. de, DUDA, G. P., SILVA, A.; OLIVEIRA, MOURA, P. M. Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.), vol.71, 2014.

OLIVERIA, L.; PINTO, D.; NASCIMENTO, P.; VALLE, E.; INACIO, B.; SOUZA, H. Os Mutirões Agroecológicos e sua importância integração e socialização da juventude na construção de conhecimentos. Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – Anais do VI CLAA, X CBA e V SEMDF – Vol. 13, N° 1, 2018.

PEREIRA, A. J.; SANTANA, F. C.; PEREIRA, F. J.; TIBIRIÇÁ, A. V. R. Técnicas de compostagem desenvolvidas pela horticultura familiar agroecológica. Revista ELO - Diálogos em Extensão. Volume 06, número 02. 2017.

RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; GONZALEZ, M.C.A.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. Agroforestry Systems in Europe: Productive, Ecological and Social Perspectives. 2008.

SANTOS, C. F. dos; SIQUEIRA, E. S; ARAUJO, I. T. de; MAIA, Z. M. G. A agroecologia como perspectiva de sustentabilidade na agricultura familiar. *Ambient. soc.* [online]. 2014, vol.17, n.2. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200004>.

SAVIANI, D. Escola e Democracia: Problemas do nosso tempo. 34. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2001.

SOSA, M. B.; JAIME, A. M. R.; LOZANO, D. R. A; ROSSET, P. M. Revolução Agroecológica: O Movimento Camponês a Camponês da ANAP em Cuba. 1ª Ed. São Paulo: Outras Expressões, 2012.

SOUZA, H. N. de; CARDOSO I. M.; MENDONCA, E. de S.; CARVALHO A. F.; OLIVEIRA G. B. de; GJORUP, D. F.; BONFIM, V. R. Learning by doing: a participatory methodology for systematization of experiments with agroforestry systems, with an example of its application. *Agroforestry Systems*, v. 85, n. 2, p. 247-262. 2012. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9498-4>

SOUZA, M. E. P. de; CARVALHO, A. M. X. de; DELIBERALI, D. de C.; JUCKSCH, I.; BROWN, G. G.; MENDONCA, E. S.; CARDOSO, I. M. Vermicomposting with rock powder increases plant growth. *Applied Soil Ecology*, v. 69, p. 56-60, July 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.01.016>

SOUZA, M. E. P., CARDOSO, I. M., CARVALHO, A. M. X., LOPES, A. P., JUCKSCH, I., JANSSEN, A. Rock Powder Can Improve Vermicompost Chemical Properties and Plant Nutrition: an On-farm Experiment, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2018.

TEIXEIRA, H. M.; L. BERG, V. D.; Cardoso, I. M.; VERMUE, A. J.; BIANCHI, F.J. J. A.; M. P. C.; TITTONELL, P. Understanding Farm Diversity to Promote Agroecological

Transitions. Sustainability 10 (2018)12. - ISSN 2071-1050.  
<https://doi.org/10.3390/su10124337>.

THEODORO, S. M. C. H. A Fertilização da terra pela Terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. 2000. 221 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

THEODORO, S. H., O. LEONARDOS, E. L. ROCHA, & K. G. REGO. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. Espaço & Geografia 9:263–92. 2006.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; MEDEIROS, F. de P.; TALINI, N. L.; SANTOS, F. dos; OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. Anais... Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013. p. 32-42.

THEODORO, S.H. & MEDEIROS, F.P. de. Uso de pós de rocha na recuperação de áreas degradadas: estudo de caso do reservatório de Três Marias/MG. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; 2016.

THIOLLENT, M. Metodologia da Pesquisa-ação. 5ª edição. São Paulo: Cortez Editora. 1992.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. Educ. Pesqui. [online]. 2005, vol.31, n.3, pp.443-466. ISSN 1678-4634. <https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000300009>.

TUMWEBAZE, S.B.; BEVILACQUA, E.; BRIGGS, R.; VOLK, T. Soil organic carbon under a linear simultaneous agroforestry system in Uganda. Agroforestry Systems 80: 1-13. 2012.



WEZEL, A., BELLON, S., DORÉ, T. *et al.* Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 503–515. 2009.  
<https://doi.org/10.1051/agro/2009004>

ZANELLI, F. V.; LOPES, A. S.; CARDOSO, I.M; FERNANDES, R. B. A.; SILVA, B. M. Intercâmbios Agroecológicos: Aprendizado coletivo. *Informe Agropecuário* (Belo Horizonte), v. 36, p. 104-113, 2015.

## CAPÍTULO II

### SUBSTRATOS PRODUZIDOS COM PÓS DE ROCHAS VERMICOMPOSTADOS MELHORAM O DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ

#### RESUMO

Os pós de rocha, subprodutos de atividades minerais, podem ser utilizados para fornecer nutrientes para as plantas. O seu uso é permitido pela legislação brasileira, inclusive para a agricultura orgânica, especialmente por serem matérias de baixa solubilidade. Porém isso pode dificultar a disponibilização dos nutrientes para as plantas. Entretanto, a associação de pós de rocha com técnicas que potencializam o papel dos organismos do solo, a exemplo da vermicompostagem, pode acelerar a disponibilização dos nutrientes. Contudo, as rochas possuem metais pesados e a disponibilização dos mesmo para as plantas precisa ser estudada. O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o potencial de pós de rochas silicáticas (gnaisse e esteatito) para a produção de mudas de café (*Coffea arabica*) orgânico; avaliar o crescimento das mudas de café fertilizadas com substratos produzidos com pós de gnaisse e esteatito vermicompostados; avaliar a capacidade da vermicompostagem de potencializar a liberação de nutrientes de pós de rochas para o desenvolvimento das mudas de café e; avaliar a absorção pelas plantas de café dos metais pesados presentes nos pós de rochas. Parâmetros de desenvolvimento das plantas, teores de macro e micronutrientes no substrato e nas folhas ao final do experimento, conteúdos de nutrientes nas folhas e a biodisponibilização dos nutrientes no substrato foram avaliados. O desenvolvimento das plantas foi melhor quando as plantas foram cultivadas em substratos contendo pós de gnaisse e esteatito vermicompostados. No solo, o pH, a soma de bases, a CTC e a concentração de alguns macronutriente e micronutrientes aumentaram nos tratamentos com tais pós de rochas vermicompostados. As concentrações de metais pesados (Ni, Cd, Cr e Pb) no substrato enriquecido com pós de gnaisse ficaram abaixo do estabelecido pela legislação brasileira. Nas plantas o Ni foi detectado em plantas cultivadas com pós de esteatito puro, mas não foi detectado quando vemicompostado. Com os pós de rochas vermicompostados ou não, não se detectou Cr, Cd e Pb nas plantas. O pó de gnaisse vermicompostado apresentou potencial para ser utilizado na agricultura, pois

melhorou as características químicas do solo e a nutrição das plantas. O pó de esteatito, devido à presença em especial o Ni e o Cr, requer cuidados na sua utilização, mas quando vermicompostado pode ser indicado para produção de mudas perenes que não tenha finalidade de produção de alimentos.

Palavras-chave: Agroecologia. Adubação orgânica. Vermicompostagem. Gnaisse. Esteatito.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil a Lei nº 10.831 de 2003 regulamenta quais insumos, dentre eles os fertilizantes, podem ou não ser utilizados na agricultura orgânica (SCARAMUZZO, 2005). Nesse tipo de agricultura, a legislação permite o uso de compostos orgânicos, biofertilizantes líquidos, adubos verdes e esterco animais no manejo da fertilidade do solo. A escolha das práticas a serem utilizadas em cada caso depende de diversos fatores, tais como a disponibilidade local, o tamanho do cultivo, o manejo das áreas, os aspectos culturais e o conhecimento prévio do agricultor. Para a produção do café orgânico, os agricultores muitas vezes adquirem material orgânico de outras regiões, a exemplo da torta de mamona, que já foi muito utilizada pelos agricultores de café orgânico da Zona da Mata mineira (MOURA et al., 2013).

Nessa região, muitos agricultores que produzem café orgânico também se consideram agroecológicos (CUPERTINO et al., 2016). A "agroecologia" é compreendida como ciência, movimento político e prática social orientada a desenvolver sistemas agroalimentares sustentáveis em todas as suas dimensões (WEZEL et al., 2009; ABA, 2015). Para que sejam sustentáveis, no manejo dos sistemas agroalimentares deve-se utilizar tecnologias e práticas baseadas em certos princípios, dentre quais, a ciclagem de nutrientes e o uso de insumos locais, com vistas à redução do uso de materiais externos à propriedade e oriundos de fontes de energia não renováveis (GLIESSMAN, 2014). Além disso, prevê a não utilização de insumos com potencial de prejudicar a saúde do ambiente, dos agricultores, trabalhadores e consumidores (GLIESSMAN, 2014). Para reduzir ou eliminar o uso de insumos externos à propriedade é preciso valorizar fontes locais e regionais (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009), a exemplo dos pós de rochas (ou remineralizadores), que podem ser fontes de nutrientes, a depender da rocha utilizada.

No Brasil, as normas para o uso de remineralizadores foram estabelecidas pela Lei nº 12.890 de 2013 (BRASIL, 2013). Essa Lei definiu o que são os remineralizadores e os inseriu como uma categoria de insumo a ser utilizado e comercializado no Brasil. Em muitos casos, esse material é um subproduto da exploração mineral, rocha moída, cuja destinação em determinados casos gera sérios problemas ambientais (TEIXEIRA; COSTA, 2017). Com a legislação, o rejeito que era considerado um problema, agora pode se transformar em uma solução (desde que atenda a legislação) para a agricultura (THEODORO, 2000).

Os pós de rochas são denominados remineralizadores quando atendem as exigências estabelecidas pela legislação e podem, por isto, serem comercializados como insumos agrícolas. Resultados obtidos por vários grupos de pesquisa brasileiros vêm demonstrando que esses materiais são fontes de nutrientes para as plantas, até mesmo, em alguns casos, para aquelas de ciclo curto (THEODORO; MEDEIROS, 2017, THEODORO et al., 2006 e 2013, SILVEIRA et al., 2010; BAMBERG et al., 2013; van STRAATEN, 2006; SOUZA et al., 2018; BEERLING et al., 2018), mesmo que não necessariamente tais materiais se enquadrem como remineralizadores pela legislação. A Instrução Normativa (IN) 05 (2016), do Ministério da Agricultura, determina, por exemplo, que a soma de bases ( $K_2O$ ,  $CaO$  e  $MgO$ ) dos remineralizadores deve ser maior ou igual a 9% em peso para que eles possam obter o registro.

Entretanto, para que sejam utilizados como fertilizantes na agricultura, não só os benefícios, mas também os potenciais riscos no uso de alguns pós de rochas devem ser analisados. As rochas podem apresentar teores de um ou mais elementos tóxicos acima do permitido pela legislação, a exemplo do esteatito ou pedra-sabão (MENEZES et al., 2002). O esteatito é uma rocha silicatada e de fácil acesso em algumas regiões do Brasil, mas as concentrações de níquel (Ni) nessa rocha podem chegar a  $1500 \text{ mg kg}^{-1}$ , muito acima dos valores de referência de qualidade dos solos para Minas Gerais (COPAM, 2011). O Ni é um micronutriente para as plantas, mas em quantidades elevadas pode ser tóxico. Não basta analisar os teores, mas também avaliar como estes elementos, a exemplo do níquel, se comportam quando pós de rochas são aplicados ao solo (SOUZA et al., 2018). Elementos presentes nos pós de rochas não necessariamente são translocados para as folhas e frutos das plantas, devido aos processos de complexação do elemento pelas argilas e matéria orgânica no solo (FONTES et al., 2001) e devido aos próprios processos de absorção de nutrientes desenvolvidos pelas plantas. Por exemplo, o níquel presente em pós de esteatito não foi translocado para as folhas de milho quando aplicado em uma dose equivalente a  $37,5 \text{ g/planta}$  (SOUZA et al., 2018). Portanto, estudos sobre a biodisponibilidade desses elementos são necessários, pois mesmo estando presentes nos pós de rocha eles podem não ser absorvidos pela planta e não comprometer a qualidade dos alimentos.

A velocidade de liberação dos nutrientes presentes nos pós de rochas depende de diversos fatores, dentre eles a atividade biológica. Alguns trabalhos têm apontado

que a atividade biológica do solo aumentou a velocidade de liberação dos nutrientes dos pós de rocha (SILVA et al., 2017; SOUZA et al., 2018). A biodisponibilização dos nutrientes de pós de rocha, por exemplo, é influenciada por fungos, devido, dentre outros fatores, aos mecanismos associados a respiração fúngica que libera ácidos orgânicos que favorecem o biointemperismo dos minerais (BARKER et al., 1997; WALLANDER, 2006; CARVALHO, 2012). A biodisponibilização de nutrientes presentes em minerais, como feldspatos, aumentou quando mudas de árvores foram cultivadas em simbiose com os fungos ectomicorrízicos (WALLANDER, 2006). Os teores de K e P aumentaram quando fertilizantes contendo apatita e biotita foram inoculados com fungos solubilizadores de minerais (SILVA et al., 2017).

A disponibilização de P, K, Ca e Zn aumentou quando pós de rochas gnáissicas (uma rocha silicatada) foram adicionados aos esterco a serem vermicompostados. As plantas de milho mostraram maior desenvolvimento quando adubadas com pós de rocha vermicompostados do que adubadas apenas com vermicomposto (SOUZA et al., 2018). Isto porque o processo de vermicompostagem acelera a solubilização dos minerais devido às ações enzimática (CARPENTER et al., 2007) e aos processos físicos (SUZUKI et al., 2003) que ocorrem quando os materiais passam pelo trato intestinal das minhocas (SOUZA et al., 2018). Entretanto, ainda há poucas pesquisas sobre a capacidade da vermicompostagem em acelera o biointemperismo dos minerais presentes nos pós de rochas, principalmente de rochas silicatadas.

Embora também ainda haja poucas pesquisas, alguns autores (DIAS et al., 2018; CUPERTINO et al., 2016; MANCUSO et al., 2014) recomendam o uso de pós de rocha silicatadas no cultivo do café. Pressupõe-se que se vermicompostados, o uso dos pós de rochas silicatadas pode contribuir ainda mais para fertilizar solos cultivados com café, inclusive orgânico. Tanto vermicompostos quanto pós de rochas silicatadas são de fácil acesso aos agricultores e permitidos pela agricultura orgânica, desde que atendam a alguns requisitos, principalmente no que diz respeito aos metais pesados (IN 27 de 05/06/2006 do Ministério da Agricultura).

Para o estabelecimento de uma boa lavoura de café, mudas de qualidades são fundamentais. A produção de mudas orgânicas é um dos desafios atuais da agricultura orgânica. Atualmente, ainda é tolerado o uso de mudas convencionais, especialmente para a implementação de cultivos perenes. Entretanto, não se sabe se esta tolerância permanecerá no futuro. Para a produção orgânica de mudas de café é preciso produzir substratos que sejam ao mesmo tempo de qualidade e que não

tenham preços elevados. Vários estudos já foram realizados com o uso de resíduos agroindustriais como componentes de substratos (VALLONE et al., 2010b; ALMEIDA et al., 2011; MENEGHELLI et al., 2018), mas nenhum deles, com pós de rocha para a produção de substrato para a produção de mudas de café.

A presente pesquisa teve por objetivo geral avaliar o potencial de pós de rochas silicatadas para a produção de mudas de café (*Coffea arabica*) orgânico. Os objetivos específicos foram: i) avaliar o crescimento das mudas de café fertilizadas com substratos produzidos com pós de gnaiss e esteatito vermicompostados; ii) avaliar a capacidade da vermicompostagem de potencializar a liberação de nutrientes de pós de rochas para o desenvolvimento das mudas de café e; iii) avaliar a absorção pelas plantas de café dos metais pesados presentes nos pós de rochas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido com mudas de café em condições controladas em casa de vegetação, no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. Para a composição do substrato utilizou-se de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico (LVAd) com textura argilosa (47,2 % de argila), coletado em Viçosa. As características químicas do solo encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico utilizado no experimento.

<b>pH</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca<sup>+2</sup></b>	<b>Mg<sup>+2</sup></b>	<b>Al<sup>+3</sup></b>	<b>H+Al</b>	<b>CTC<sub>efetiva</sub></b>	<b>CTC<sub>pH 7,0</sub></b>
H <sub>2</sub> O	----mg dm <sup>-3</sup> --		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					
5,12	0,3	10	0,57	0,04	0,00	1,8	2,44	0,64
<b>SB</b>	<b>V</b>	<b>P-rem</b>	<b>MO</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Cu</b>	
cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----%---	mg L <sup>-1</sup>	dag kg <sup>-1</sup>	-----	mg kg <sup>-1</sup>	-----	-----	
0,64	26,2	3,6	0,94	0,43	29,6	1,00	0,36	

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu, Cd, Pb, Ni, Cr: Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>: Extrator KCl - 1 mol/L; SB = Soma de Bases Trocáveis; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0; T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; V= Índice de Saturação por Bases; pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5; MO (Mat. Orgânica) = C.Org x 1,724 -Walkley-Black; P-rem = Fósforo Remanescente: Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético; extrator água quente. Cr, Cd, Pb e Ni não foram detectados.

Os tratamentos tiveram estrutura fatorial (3 x 2), sendo três tipos de vermicompostos e dois tipos de pós de rochas, com cinco repetições, em

delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos foram solo com a adição de i) vermicomposto ( $V_C$ ); ii) pó de esteatito sem vermicomposto (E); iii) pó de esteatito vermicompostado ( $E_{VC}$ ); iv) pó de gnaissse sem vermicomposto (G); v) pó de gnaissse vermicompostado ( $G_{VC}$ ) e vi) apenas solo sem vermicomposto e sem pós de rochas, considerado controle (C).

### **2.1. Obtenção e caracterização dos pós de rocha**

O pó de gnaissse foi obtido em São João do Manhuaçu na Zona da Mata de Minas Gerais (Figura 1), onde é comercializado como material de construção. O gnaissse dessa região é caracterizado como gnaissse migmatítico enderbítico, um litotipo amplamente dominante no Complexo Juiz de Fora. A mineralogia destes gnaissse é representada por ortopiroxênio, plagioclásio, clinopiroxênio, biotita, quartzo e hornblenda. Como acessórios ocorrem zircão, apatita, epidoto e minerais opacos. A composição modal apresenta a seguinte variação: ortopiroxênio, plagioclásio, quartzo, biotita (CPRM, 2007).

O pó de esteatito (ou pedra sabão) foi obtido em Santa Rita de Ouro Preto, distrito de Ouro Preto, Minas Gerais (Figura 1). Devido à sua baixa dureza o esteatito é historicamente muito utilizado para produção de artesanato. O esteatito é uma rocha metamórfica ultramáfica, que segundo Raposo (1991), se enquadra no domínio do Complexo Santo Antônio do Pirapetinga e é composto essencialmente por talco, mas possui outros minerais em menores quantidades como anfibólios, cloritas e dolomita.



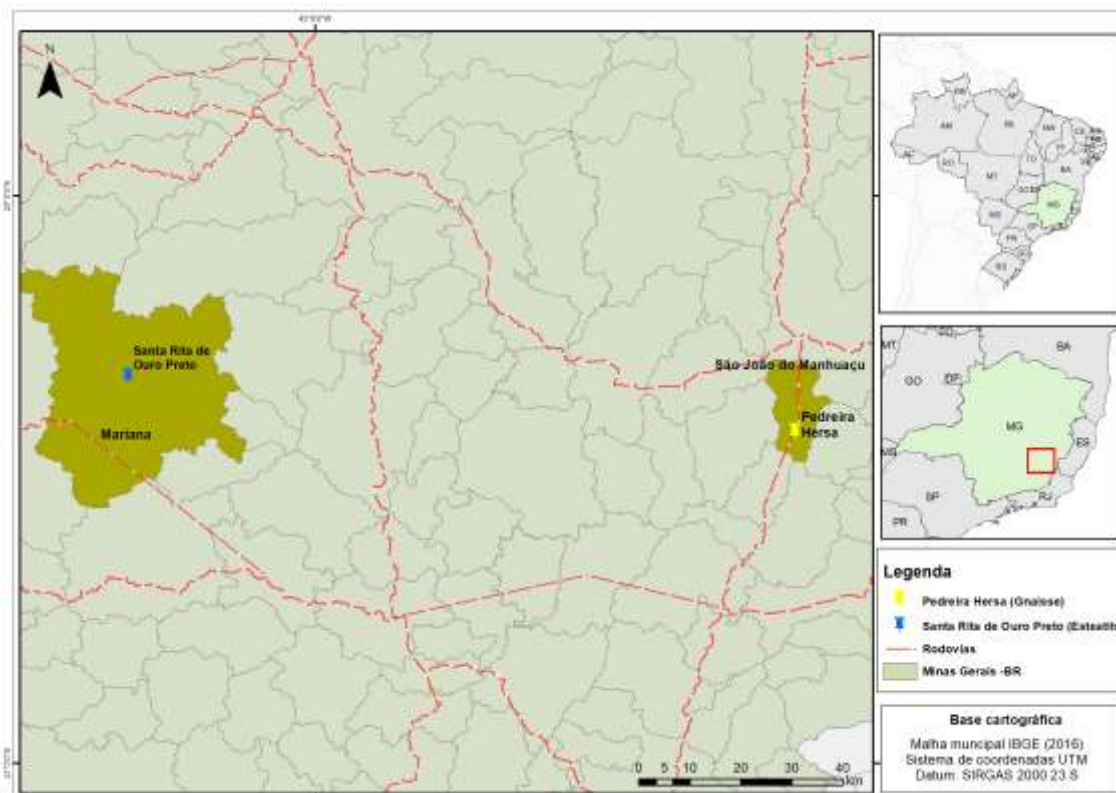


Figura 1: Mapa de localização das áreas de coleta dos pós de esteatito e de gnaïsse.

Os principais elementos presentes nos pós derivados de gnaïsse e de esteatito utilizados (Tabela 2) foram analisados. Os pós de rochas foram previamente secos ao ar e passados em peneira de 0,074 mm de abertura e analisados por espectrometria de fluorescência de raios-X ou por espectrofotometria de emissão de plasma após digestão nitroperclórica (SILVA, 2009; EPA 3052, 2004).

Tabela 2. Caracterização química dos pós de gnaïsse e esteatito<sup>1</sup>

Pó de rocha	Macroelementos (%)							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
Esteatito	41,7	4,2	7,3	2,7	29,0	0,01	0,02	0,11
Gnaïsse	56,0	17,4	8,8	5,0	2,5	3,7	0,6	0,14
	Microelementos (ppm)							
	Li	Se	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
Esteatito	<3	<20	29	48	1413	<3	607	<8
Gnaïsse	12	<20	15	85	<3	<3	11	9,0

<sup>1</sup>Análise realizada no SGS Geosol Laboratórios LTDA.

## 2.2. Características químicas do esterco utilizado no vermicomposto

Para a produção do vermicomposto foi utilizado esterco bovino previamente homogeneizado e semicurtido. As características químicas do esterco bovino encontram-se na Tabela 3. Para a caracterização química, uma amostra composta do esterco homogeneizado foi acondicionada em sacos de papel e colocada em estufa (65 °C) de circulação forçada de ar por 72 h. Após a secagem o material foi pesado, moído, acondicionado em sacos de polietileno devidamente identificados. O material foi submetido à digestão nitroperclórica, e, os teores dos nutrientes foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (Ca, Mg, Al e microelementos), espectrometria de absorção molecular (P e S) e fotometria de chama (K) segundo Silva (2009) (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização química do esterco bovino.

P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Mn	Ni	Cr	Pb
----- g kg <sup>-1</sup> -----				----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
2,79	9,75	6,96	4,02	18,36	71,76	815,21	5,71	6,85	5,35

### 2.3. Produção dos vermicompostos

Três minhocários do tipo Campeiro (SCHIEDECK et al., 2007) foram instalados em uma propriedade rural, no município de Divino, Minas Gerais. Os minhocários possuíam dimensões de aproximadamente 0,80 m de largura, 1,20 m de comprimento e 0,30 m de altura (Figura 2).



Figura 2. Minhocários do tipo campeiro construídos em propriedade de agricultura familiar, Divino, Minas Gerais.

As minhocas da espécie *Eisenia andrei* foram colocadas no fundo do minhocário e cobertas com o esterco bovino semi-curtido. Foi adicionado 1 L de minhocas, que corresponde a aproximadamente 1200 minhocas, para cada 100 kg de esterco, em cada minhocário. Em um dos minhocários adicionou-se pó de gnaiss (G<sub>vc</sub>), em outro pó de esteatito (E<sub>vc</sub>) e em outro não se adicionou pó de rocha (V<sub>c</sub>). Os pós de rocha foram peneirados em peneira de 200 mesh (0.075 mm de abertura) antes de ser aplicado aos tratamentos e foram adicionados ao esterco na dose de 20 % (m/m), conforme utilizado também por Souza (2018).

Os vermicompostos foram produzidos em 90 dias. Ao final os vermicompostos foram homogeneizados, secos, moídos e foram caracterizados quimicamente (Tabela 4), conforme métodos descritos anteriormente para o esterco.

Tabela 4. Caracterização química dos vermicompostos ao final de processo de vermicompostagem enriquecido ou não (V<sub>c</sub>) com os pós de gnaiss (G<sub>vc</sub>), esteatito (E<sub>vc</sub>).

	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				----- mg kg <sup>-1</sup> -----						
V <sub>c</sub>	2,78	2,78	8,98	5,20	16,70	68,33	68,33	0,00	26,55	9,93	6,95
G <sub>vc</sub>	2,52	7,62	7,97	6,23	0,76	65,17	65,17	0,00	20,07	10,00	5,04
E <sub>vc</sub>	2,37	8,33	9,12	14,77	21,63	75,90	75,90	0,00	194,35	779,22	8,11

Dentre os metais pesados, cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) e Níquel (Ni) são micronutrientes classificados como essenciais, ou seja, indispensáveis para o desenvolvimento das plantas (ESKEW et al., 1983). O cádmio (Cd), o cromo (Cr) e o chumbo (Pb) são considerados não essenciais e tóxicos, portanto, prejudiciais. Eles são considerados carcinogênicos ou mutagênicos, mesmo em baixas concentrações (PICARDO; FERREIRA, 2009). Os limites máximos permitidos por lei dos metais pesados presentes nos fertilizantes orgânicos, no solo e nos pós de rocha (remineralizadores) encontram-se na Tabela 5, exceto Fe e Mn, cujos limites máximos não são determinados para fertilizantes orgânicos.

Tabela 5. Limites máximos de metais pesados permitidos em fertilizantes orgânicos, solo e plantas e de remineralizadores.

Elemento	Fertilizante orgânico <sup>1</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Solo <sup>2</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Remineralizador <sup>3</sup> (ppm)
Cobre	SL <sup>4</sup>	49,0	SL

Zinco	SL	46,5	SL
Níquel	70	21,5	SL
Cádmio	3	<0,4	10
Cromo	200	75,0	SL
Chumbo	150	19,5	200

<sup>1</sup>Instrução normativa 27 de 05/06/2006 do Ministério da Agricultura (Brasil, 2006); <sup>2</sup>Valores de Referência de Qualidade dos Solos para Minas Gerais. Deliberação Normativa COPAM nº 166 de 29 de junho de 2011 (COPAM, 2011); <sup>3</sup> Instrução normativa nº 5 (2016); <sup>4</sup> SL: Sem limite estabelecido pela instrução normativa. Valores em ppm.

## 2.4. Produção do substrato e plantio das mudas

Para correção de acidez do solo foi utilizado calcário dolomítico com PRNT 75%, o equivalente a 1,25 g L<sup>-1</sup>. O solo corrigido foi adubado ou não com pós de gnaise, esteatito ou vermicomposto puro, de acordo com os tratamentos propostos.

As doses dos tratamentos com vermicomposto com e sem pó de rocha e do solo foram calculadas em volume. Para a composição do substrato utilizou-se 2,64 L de solo (3 kg) e 1 L de vermicomposto ( $\cong$  750 g). Para os tratamentos apenas com os pós rochas, utilizou-se 187,5 g vaso<sup>-1</sup> de pó de esteatito ou gnaise.

Utilizou-se mudas comerciais, que foram adquiridas de um viveiro local, cultivadas em substrato (200 g) produzidos convencionalmente com adubação química (Tabela 6). Plantas saudáveis e mais homogêneas possíveis foram escolhidas, todas contendo três pares de folhas verdadeiras.

Tabela 6. Caracterização química do substrato da muda sob cultivo convencional.

pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P	K <sup>+</sup>	Cu	Mn	Fe	Zn	Cr	Ni	Cd	Pb	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	P- rem mg L <sup>-1</sup>
-----mg kg <sup>-1</sup> -----												cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
5,51	4,5	131	110	1,26	35,4	119	6,99	0,14	0,89	0,00	1,42	3,97	0,35	29,7

As mudas foram envolvidas por uma tela plástica de 18 x 7,5 cm com 8 mm<sup>2</sup>, para evitar a mistura do substrato original com o novo substrato onde a mesma seria plantada. As plantas envolvidas com tela foram colocadas em vasos plásticos com capacidade de 5 L, completados com os substratos, de acordo com os tratamentos utilizados (Figura 3). As plantas foram regadas a cada 48 horas utilizando-se água deionizada.



Figura 3. Modelo de tela utilizada para cultivo das mudas de café (A); muda de café envolvida em tela (B); vaso com substrato e muda (C).

## 2.5. Análise de crescimento das plantas

Após 6 meses, as plantas foram avaliadas utilizando os seguintes parâmetros: a) altura das plantas (cm), considerando a distância do colo da planta até o último nó emitido; b) diâmetro do caule das mudas (mm) medido em milímetros junto ao colo da muda utilizando paquímetro; c) massa seca da parte aérea e massa fresca das raízes, considerando apenas as raízes que cresceram para fora da tela que envolveu o substrato vindo do viveiro. A massa seca da parte aérea foi obtida após secagem do material em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até massa constante (g) d) área foliar (mm<sup>2</sup>) (TAVARES-JUNIOR et al. 2002).

## 2.6. Análise química do solo

Ao final do experimento, o solo de cada vaso foi homogeneizado, seco ao ar e passado em peneira de 2 mm de abertura. Os macronutrientes Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> (extraídos em KCl 1 mol L<sup>-1</sup>), P e K, os micronutrientes Cu, Zn, Mn e Ni e os metais pesados Cd, Cr e Pb (extraídos em solução Mehlich 1) foram determinados conforme Silva (2009). A acidez ativa (pH em água), a acidez potencial (em Acetato de Ca 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 7,0) e a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC) (SILVA, 2009) foram também avaliadas.

## **2.7. Composição química e disponibilização de nutrientes e metais pesados nas plantas**

A análise química das plantas foi realizada após secagem (folhas e caules) em estufa com temperatura 105 °C até peso constante e moída em moinho tipo Wiley. Os teores de P, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Ni, Cd, Cr e Pb foram determinados após digestão nitroperclórica (SILVA, 2009). Os teores foram utilizados para calcular os conteúdos de nutrientes na parte aérea das plantas.

A biodisponibilização total dos elementos ( $\text{mg vaso}^{-1}$ ) foi calculada somando-se os conteúdos dos elementos nas plantas com o conteúdo dos elementos ainda disponíveis no solo ao final do experimento.

## **2.8. Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos aos testes de Levene (Med) sem zeros estruturais para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias e Jarque-Bera para normalidade dos resíduos (HINES; O'HARA HINES, 2000; JARQUE-BERA, 1981) e ESD generalizado para avaliar a presença de outliers (ROSNER, 1983). Em seguida, realizou-se a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5 % de probabilidade, utilizando o software SPEED Stat (CARVALHO et al., 2020). Adicionalmente, os dados foram avaliados por análise multivariada pelo índice PCA global (ZHIYUAN et al., 2011).

## **3. RESULTADOS**

### **3.1. Crescimento das plantas**

A parte aérea e o sistema radicular das mudas adubadas com vermicomposto foram visualmente mais vigorosas, especialmente quando pós de rochas foram utilizados no processo de vermicompostagem (Figura 4).





Figura 4. 1) Plantas de café desenvolvidas em casa de vegetação quando o substrato continha, da esquerda para direita: A) apenas solo (controle); B) pó de esteatito; C) pó de gnaiss; D) vermicomposto; E) vermicomposto enriquecido com gnaiss E) vermicomposto enriquecido com esteatito; F) vermicomposto enriquecido com esteatito; 2) Raízes de café desenvolvidas em vasos em casa de vegetação quando o substrato continha, da esquerda para direita: A) apenas solo (controle); B) pó de esteatito; C) pó de gnaiss; D) vermicomposto sem pó de rocha; E) vermicomposto enriquecido com gnaiss F) vermicomposto enriquecido com esteatito.

A altura das mudas de café diferiu entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). A altura das plantas adubadas com vermicomposto foi maior do que a altura das plantas não adubadas com vermicomposto. Sem vermicomposto, não houve efeito dos pós de rocha na altura das plantas. Em relação as plantas adubadas com vermicomposto, a altura das plantas foi maior ( $p < 0,05$ ) quando as plantas foram adubadas com Evc (23 %) e Gvc (12%; Figura 5).

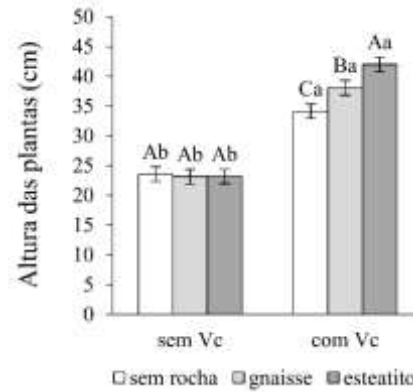


Figura 5. Altura das plantas (cm) de café adubadas ou não com vermicomposto ( $V_C$ ), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito ( $E_{Vc}$ ) ou gnaisse ( $G_{Vc}$ ). Letras minúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto, e letras maiúsculas comparam tratamentos com diferentes pós de rocha ou sem rocha pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.

O diâmetro do caule (Figura 6A) e a área foliar (Figura 6B) foram maiores nos tratamentos adubados com vermicompostos ( $p < 0,05$ ) e não diferiram entre si com a adição de pós de rochas.

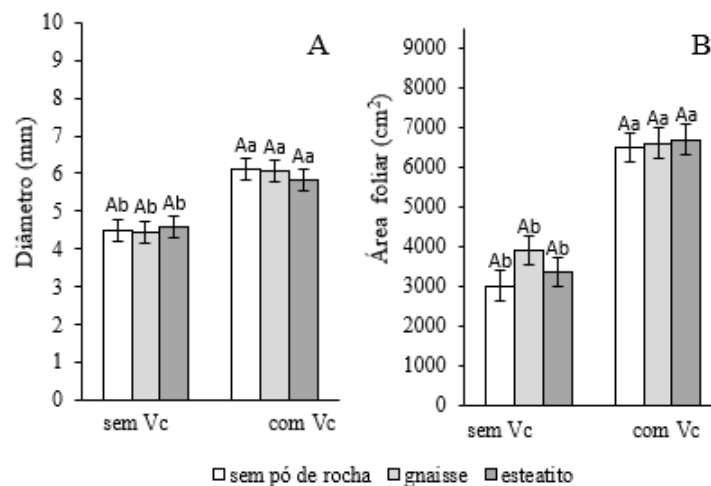


Figura 6. A) Diâmetro do caule (mm) e B) Área foliar ( $cm^2$ ) das plantas de café adubadas ou não com vermicomposto ( $V_C$ ), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito ( $E_{Vc}$ ) ou gnaisse ( $G_{Vc}$ ). Letras minúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto, e letras maiúsculas comparam tratamentos com diferentes pós de rocha ou sem rocha pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.



A massa seca da parte aérea - MSPA (Figura 7A) e a massa fresca das raízes (Figura 7B) diferiram entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ). As massas secas da parte aérea das plantas adubadas com vermicomposto foram maiores do que das plantas não adubadas com vermicomposto. Sem vermicomposto, não houve efeito dos pós de rocha nas massas das plantas. Com vermicomposto, a MSPA das plantas adubadas com Evc foi 15,5% maior ( $p < 0,05$ ) que as plantas adubadas com Gvc e Vc, que não diferiram entre si (Figura 7A).

As massas frescas das raízes das plantas adubadas com vermicomposto foram maiores do que das plantas não adubadas com vermicomposto ( $p < 0,05$ , Figura 7B). Em relação as plantas adubadas apenas com Vc, o tratamento Evc promoveu um aumento de 70% e o tratamento Gvc um aumento de 38,5% na massa fresca das raízes (Figura 7B).

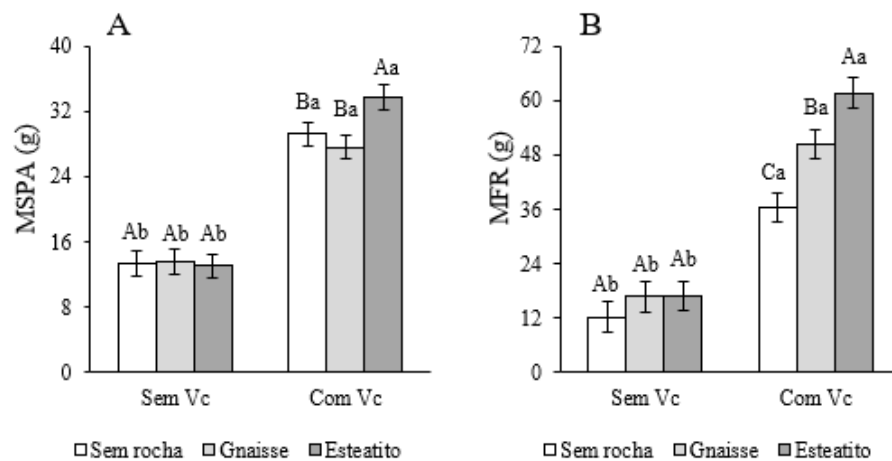


Figura 7. Massa seca da parte aérea (MSPA) (A) e massa fresca das raízes (MFR) (B) das plantas de café adubadas ou não com vermicomposto (Vc), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito (Evc) ou gnaisse (Gvc). Letras minúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto, e letras maiúsculas comparam tratamentos com diferentes pós de rocha ou sem rocha pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.

### 3.2. Características químicas do substrato ao final do experimento

Os tratamentos alteraram as características químicas do substrato, principalmente nos tratamentos com vermicomposto. Os pós de rochas

vermicompostados elevaram o pH, a SB (soma de bases) e a CTC potencial. A acidez trocável ( $Al^{+3}$ ) foi zero em todos os tratamentos, portanto a CTC efetiva foi igual a SB. A maior elevação de pH ocorreu com a adição de esteatito, mesmo sem passar pelo processo de vermicompostagem (Tabela 7).

Tabela 7. Características químicas dos substratos após seis meses de cultivo das mudas de café adubadas ou não com vermicomposto ( $V_C$ ), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito ( $E_{VC}$ ) ou gnaisse ( $G_{VC}$ ).

		Vermicompostagem	
		Não	Sim
<b>pH</b> $H_2O$	Sem pó de rocha	6,43 Bb	7,21 Aa
	Gnaisse	6,58 Bb	7,03 Ab
	Esteatito	7,37 Aa	7,26 Aa
<b>SB</b> ( $cmol_c kg^{-1}$ )	Sem pó de rocha	2,58 Bb	8,81 Ac
	Gnaisse	3,16 Bb	10,47 Ab
	Esteatito	3,88 Ba	11,93 Aa
<b>CTC</b> <b>potencial</b> ( $cmol_c kg^{-1}$ )	Sem pó de rocha	3,40 Bb	9,45 Ac
	Gnaisse	3,47 Bb	11,27 Ab
	Esteatito	3,88 Ba	12,40 Aa

Letras maiúsculas comparam tratamentos sem vs com vermicomposto, e letras minúsculas comparam tratamentos com diferentes pós de rocha ou sem rocha pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.

Os teores dos macronutrientes foram maiores nos tratamentos onde foram aplicados vermicomposto ( $p < 0,05$ ) e variaram entre os pós de rocha. Os teores de P,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  foram maiores no tratamento  $E_{VC}$ . O teor de  $K^+$  foi maior no tratamento  $G_{VC}$ , seguido de  $E_{VC}$  (Figura 8).

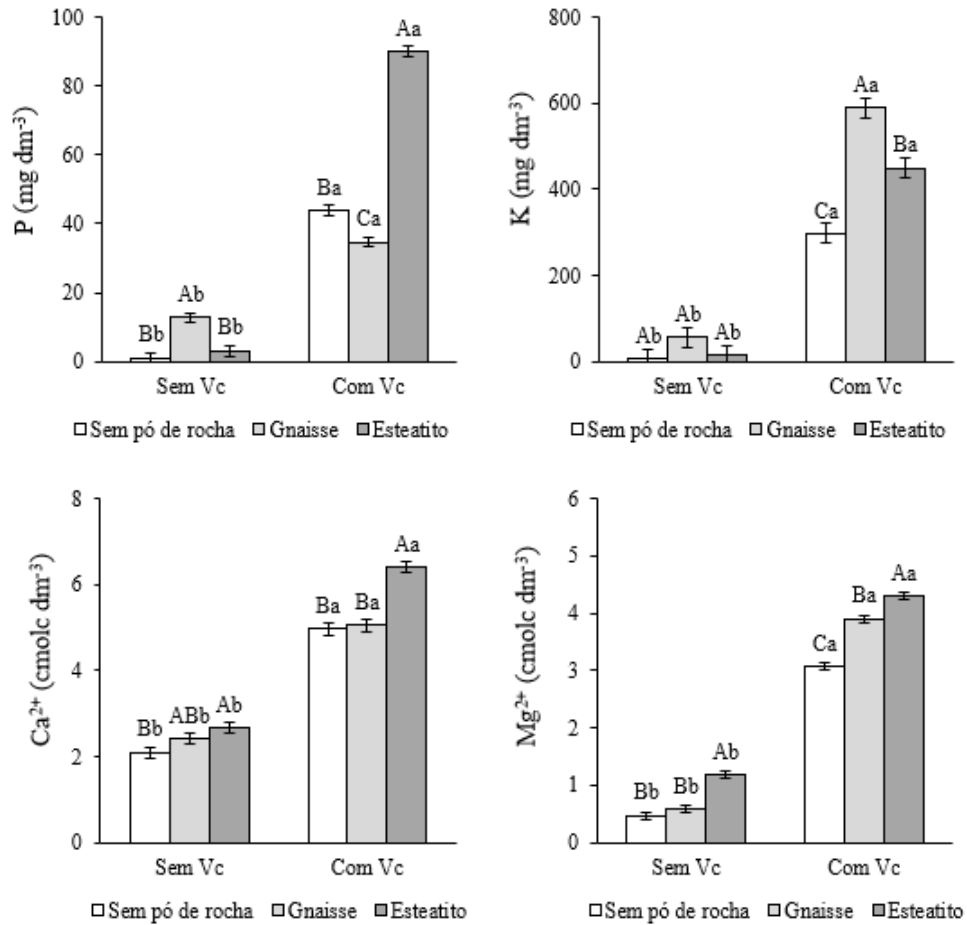


Figura 8. Macronutrientes no substrato após seis meses de cultivo das plantas de café adubadas ou não com vermicomposto (Vc), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito (Evc) ou gnaisse (Gvc). Letras minúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto, e letras maiúsculas comparam tratamentos com diferentes pós de rocha ou sem rocha pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.

Os tratamentos aplicados alteraram os teores de micronutrientes e metais pesados nos substratos após o cultivo das mudas (Figura 9). Nos tratamentos em que os pós de rochas não foram vermicompostados, a adição de pós de gnaisse ou esteatito aumentou os teores de Cu e Mn ( $p < 0.05$ ). A adição de esteatito e gnaisse aumentou os teores de Ni, mas com a adição de esteatito o aumento foi muito maior, de aproximadamente 1000%. A adição de esteatito também aumentou os teores de Cr.

Quando vermicompostados, os teores de Cu aumentaram no Gvc, já os teores de Zn e Mn aumentaram em Gvc e Evc ( $p < 0.05$ ; Figura 9). Em Evc, o processo de

vermicompostagem diminuiu o teor de Ni em aproximadamente 200%, em relação ao esteatito puro. Os teores de Cu, Zn e Ni (Figura 9) ficaram abaixo dos Valores de Referência para solo (Tabela 5). A adição de pós de rocha vermicompostados não alterou os teores de Pb e Cr disponíveis ( $p < 0.05$ ), os quais ficaram abaixo dos Valores de Referência para solo (Figura 9 e Tabela 5). Cd não foi detectado.

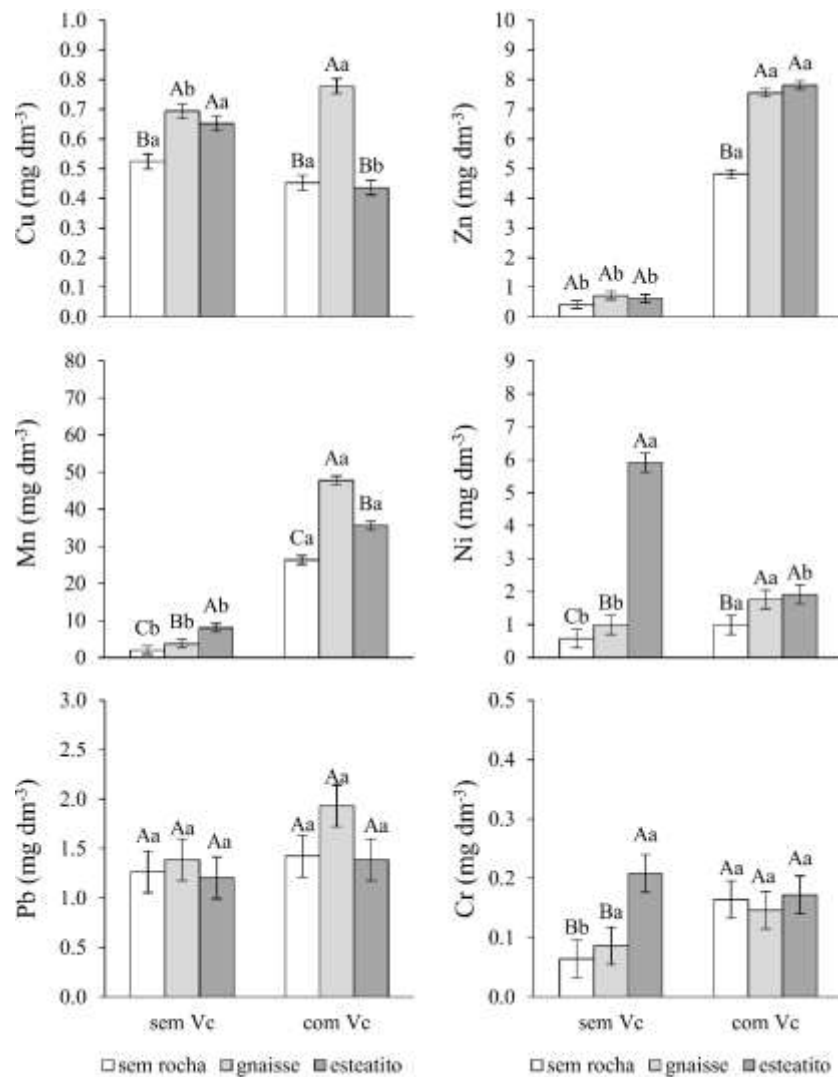


Figura 9. Concentração de micronutrientes e metais pesados em substrato após seis meses de cultivo de mudas de café adubadas ou não com vermicomposto (V<sub>c</sub>), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito (E<sub>vc</sub>) ou gnaiss (G<sub>vc</sub>). Letras minúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto, e letras maiúsculas comparam tratamentos com diferentes pós de rocha ou sem rocha pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.

### 3.3. Conteúdos de elementos químicos nas plantas

Em geral, a adição de pós de rocha (E ou G) (sem vermicompostagem) no substrato não aumentou significativamente o conteúdo de macronutrientes nas plantas, mas, a adição de vermicomposto, com ou sem rocha, elevou os conteúdos de macronutrientes na matéria seca das plantas (Tabela 8). Quando os pós de rocha foram acrescentados, Evc aumentou o conteúdo de K, Ca e Mg, em relação a Gvc ( $p < 0,05$ ).

Tabela 8. Conteúdo de macronutrientes em mudas de café adubadas ou não com vermicomposto ( $V_C$ ), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito ( $E_{VC}$ ) ou gnaïsse ( $G_{VC}$ ).

		Vermicompostagem			
		Não		Sim	
<b>P</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV 16,0%	<b>Sem pós de rocha</b>	19,68	Ba	56,19	Aa
	<b>Gnaïsse</b>	22,86	Ba	57,28	Aa
	<b>Esteatito</b>	22,00	Ba	77,84	Aa
<b>K</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV% 18,4	<b>Sem pós de rocha</b>	178,77	Ba	636,79	Aab
	<b>Gnaïsse</b>	193,03	Ba	597,84	Ab
	<b>Esteatito</b>	217,57	Ba	724,09	Aa
<b>Ca</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV% 14,5	<b>Sem pós rocha</b>	144,78	Ba	176,69	Aa
	<b>Gnaïsse</b>	155,84	Aa	119,67	Bb
	<b>Esteatito</b>	133,40	Ba	190,41	Aa
<b>Mg</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV% 19,4	<b>Sem pós de rocha</b>	26,38	Ba	75,67	Aa
	<b>Gnaïsse</b>	40,80	Ba	62,12	Ab
	<b>Esteatito</b>	26,31	Ba	82,74	Aa

Letras maiúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto (linha), e letras minúsculas comparam tratamentos com pós de rocha ou sem rocha (coluna), pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. CV: coeficiente de variação

Em geral, o uso de pós de rocha, vermicompostados ou não, não aumentou o conteúdo dos micronutrientes nas plantas, com exceções. Entre os tratamentos com vermicomposto, o conteúdo de Cu foi maior nas plantas cultivadas em substratos com  $E_{VC}$  e o de Mn foi menor em substrato com  $G_{VC}$ . Nas plantas, a adição de pós de esteatito puro aumentou o conteúdo de Ni ( $p < 0,05$ ), mas quando vermicompostado o teor de Ni não foi detectado. Em todos os tratamentos, os conteúdos de Cr, Cd e Pb estiveram abaixo dos limites de determinação dos métodos utilizados.

Tabela 9. Conteúdo de micronutrientes em mudas de café em substratos adubados ou não com vermicomposto ( $V_c$ ), puro ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito ( $E_{vc}$ ) ou gnaïsse ( $G_{vc}$ ).

		Vermicompostagem			
		Não		Sim	
<b>Cu</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV% 30,8	<b>Sem pós de rocha</b>	0,08	Aa	0,06	Ab
	<b>Gnaïsse</b>	0,09	Aa	0,09	Aab
	<b>Esteatito</b>	0,08	Aa	0,11	Aa
<b>Zn</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV% 45,3	<b>Sem pós de rocha</b>	0,10	Aa	0,08	Aa
	<b>Gnaïsse</b>	0,10	Aa	0,08	Aa
	<b>Esteatito</b>	0,10	Aa	0,15	Aa
<b>Mn</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV% 28,6	<b>Sem pós de rocha</b>	1,90	Aa	1,34	Aa
	<b>Gnaïsse</b>	1,70	Aa	0,90	Ab
	<b>Esteatito</b>	1,87	Aa	1,61	Aa
<b>Ni</b> (mg vaso <sup>-1</sup> ) CV% 26,6	<b>Sem pós de rocha</b>	0,01	Ac	nd <sup>1</sup>	Ba
	<b>Gnaïsse</b>	0,01	Ab	nd <sup>1</sup>	Ba
	<b>Esteatito</b>	0,02	Aa	nd <sup>1</sup>	Ba

<sup>1</sup>Abaixo do limite de determinação. Letras maiúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto (linha), e letras minúsculas comparam tratamentos com ou sem pó de rocha (coluna) pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

### 3.4 Biodisponibilização total dos nutrientes no substrato

Mesmo quando aplicados sem vermicompostar (Figura 10), o pó de gnaïsse aumentou ( $p < 0,05$ ) a biodisponibilização de P (712%) e o pó de esteatito aumentou a biodisponibilidade de Ca (25%) e de Mg (141%). Em relação a  $V_c$ ,  $G_{vc}$  e  $E_{vc}$  aumentaram ( $p < 0,05$ ) a biodisponibilização de K (em média 72%) e Mg (em média 39%).  $E_{vc}$  aumentou ( $p < 0,05$ ) a biodisponibilização de P (78%) e Ca (96%). Em relação a  $E_{vc}$ ,  $G_{vc}$  aumentou o teor de K em 21,1%. Tais resultados indicam a capacidade do processo de vermicompostar pós de gnaïsse e esteatito em aumentar a biodisponibilização de nutrientes para o solo.

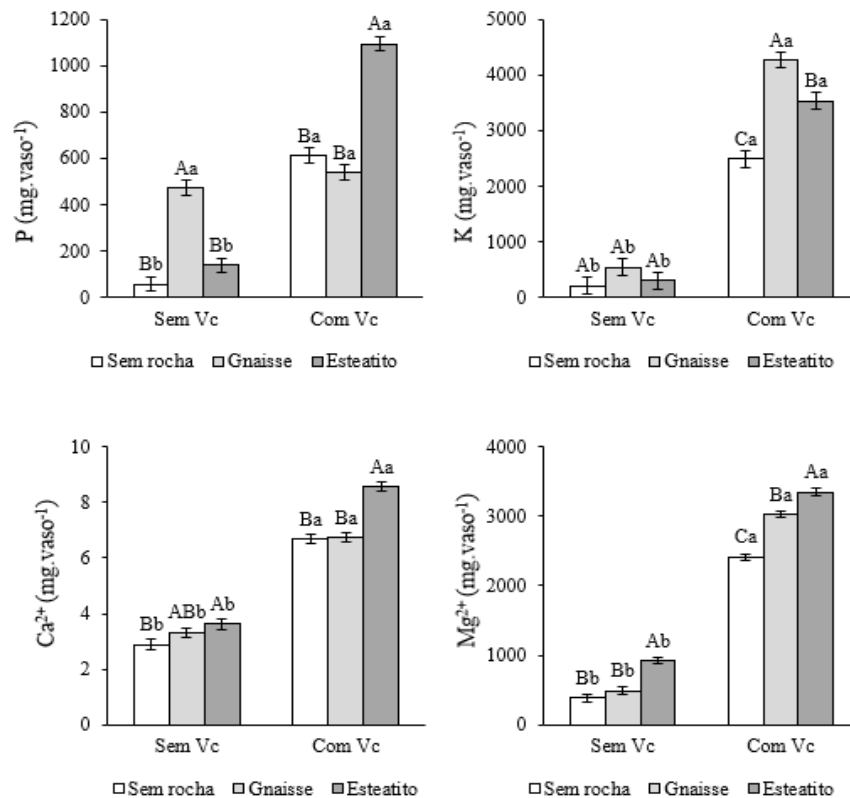


Figura 10. Macronutrientes biodisponibilizados em substrato após seis meses de cultivo de mudas de café. Os substratos foram adubados ou não com pós de gnaisse ou esteatito, vermicompostados ou não. Letras minúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto, e letras maiúsculas comparam tratamentos com diferentes pós de rocha ou sem rocha pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.

Mesmo quando aplicados sem vermicompostar (Figura 11), os pós de gnaisse e esteatito aumentaram ( $p < 0,05$ ) a biodisponibilização de Cu, Zn, Mn e Ni. O pó de esteatito, em especial, aumentou em 925% a biodisponibilização de Ni e em 224% a de Cr. A biodisponibilização de Pb não foi alterada com a aplicação de pós de rocha.

O processo de vermicompostagem alterou a biodisponibilização de micronutrientes e metais pesados, em especial quando os pós de rocha foram adicionados (Figura 11). Quando gnaisse foi vermicompostados, houve aumento ( $p < 0,05$ ) na biodisponibilização de Cu (72%); Gvc e Evc aumentaram ( $p < 0,05$ ) a biodisponibilização de Zn (em média 90,4% e 1181,8%, respectivamente) e Mn (em média 1075,3% e 327,3%, respectivamente). Em relação a E, o processo de vermicompostagem, diminuiu em Evc a biodisponibilização de Ni (209%) e Cr (21%), dois elementos com elevados teores no pó de esteatito (Figura 11 e Tabela 2).

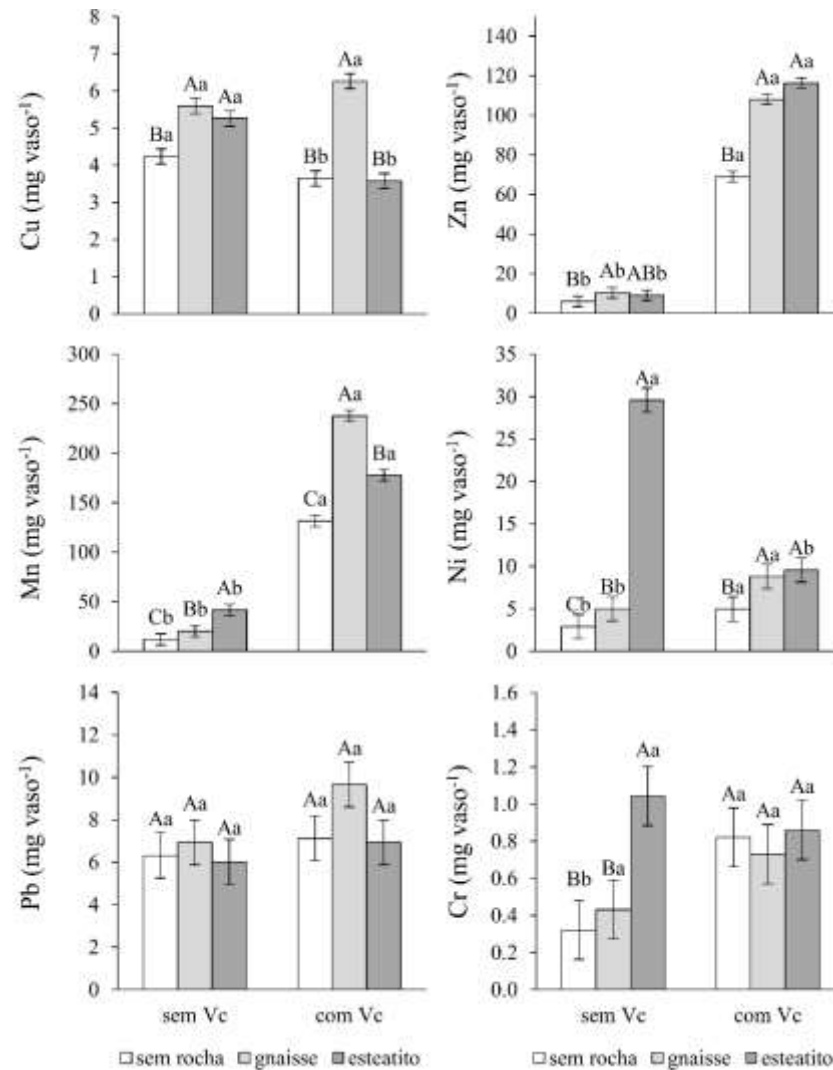


Figura 11. Micronutrientes e metais pesados biodisponibilizados no substrato após seis meses de cultivo de mudas de café. Os substratos foram adubados ou não com pós de gnaissé ou esteatito, vermicompostados ou não. Letras minúsculas comparam tratamentos sem e com vermicomposto, e letras maiúsculas comparam tratamentos com ou sem pós de rocha, pelo teste SNK a 5 % de probabilidade.

### 3.5. Índice de PCA global

A análise de componentes principais (PCA) dos parâmetros de desenvolvimento das plantas (Figura 12) mostrou que mesmo a aplicação pura dos pós de rochas (sem vermicompostar) diferenciou os *scores*, indicando melhorias no desenvolvimento das plantas com a aplicação de pós de rocha.

Os vetores das variáveis evidenciam que o vermicomposto melhorou o desenvolvimento das plantas. Quando vermicompostado, os pós de gnaissé e



esteatito apresentaram *scores* claramente distanciados dos *scores* do tratamento Vc, indicando que os pós de rocha vermicompostados promoveram ainda mais o desenvolvimento das plantas.

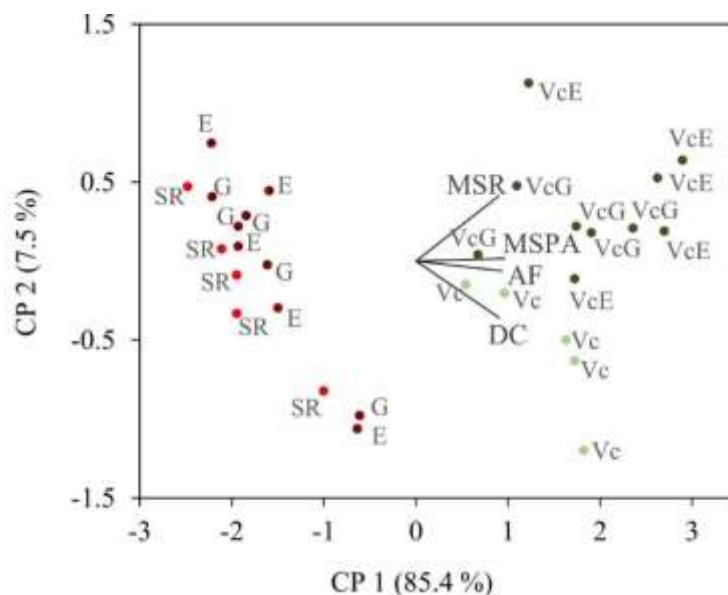


Figura 12. Análise de componentes principais dos parâmetros de desenvolvimento avaliados (MSPA, MSR, AF e DC) nas plantas de café adubadas ou não (SR) com vermicomposto puro (Vc) ou enriquecido durante o processo de vermicompostagem com pó de esteatito (VcE) ou gnaisse (VcG). Cores distintas indicam grupos distintos de tratamentos pelo índice PCA utilizado ( $p < 0.05$ ) e linhas correspondem aos vetores de associação das variáveis.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Desenvolvimento das plantas

O melhor desenvolvimento das plantas (Figuras 5 e 7), quando fertilizadas com pós de rochas vermicompostados, indicou a potencialidade do uso desta tecnologia para a preparação de substratos a serem utilizados na produção de mudas de café.

Mudas sadias de café arábica de um ano de cultivo em viveiro possuem em torno de 29 cm de altura e pelo menos 6 pares de folhas. Somente após alcançar este padrão é que é recomendado o plantio no campo (RICCI et al., 2002; REIS; CUNHA, 2010). As plantas cultivadas com vermicomposto apresentaram alturas (Figura 5) acima dessa referência e, quando vermicompostados com esteatito ou gnaisse foram

ainda maiores, ultrapassando em ambos os tratamentos os 40 cm de altura. Marana et al., (2008) indicaram que o vermicomposto contribuiu com o melhor desenvolvimento das mudas de café, mas os resultados obtidos com a presente pesquisa indicam que pós de rocha de gnaiss e de esteatito quando vermicompostados podem suprir de forma adequada a necessidade de nutrientes das mudas e pode, portanto, substituir o uso de adubos químicos no preparo de substratos para a produção de mudas de café.

O melhor desenvolvimento das plantas (Figuras 5 e 7) nos tratamentos de vermicompostos com pós de rocha indicaram o efeito do biointemperismo no aumento da disponibilização de nutrientes presentes nos pós de rochas, especialmente do gnaiss, conforme já indicado por outros autores (SOUZA et al., 2015; SOUZA et al., 2018). Souza et al. (2018) concluiu que o pó de gnaiss vermicompostado disponibilizou mais nutrientes e possibilitou a produção de maior massa seca da parte aérea do milho. Durante a vermicompostagem, os processos biológicos que ocorrem no trato intestinal das minhocas aceleram a disponibilização dos nutrientes presentes nos minerais dos pós de rochas (SOUZA et al., 2018).

#### **4.2. Características químicas do substrato após fertilizado com pós de rochas e cultivados com mudas de café**

A presença de vários nutrientes nas rochas e a aceleração do biointemperismo pelo processo de vermicompostagem levaram às alterações importantes no solo (Tabela 7 e Figura 8). De acordo com as classes de interpretação de fertilidade de solos (RIBEIRO et al., 1999), os valores obtidos para pH foram classificados como alto ou muito alto (E) nos tratamentos sem vermicomposto e muito alto nos tratamentos com vermicompostos, indicando que a elevação do pH, mas esta ocorreu principalmente a adição de pó de esteatito (possui altos teores de Mg) e ou matéria orgânica (Tabela 7). A adição pó de gnaiss, vermicompostado ou não, não alterou o pH. Os pós de rochas em geral, por terem um efeito salino mínimo (CARVALHO et al., 2018), ao contrário dos fertilizantes solúveis (KCl, por exemplo) podem manter o pH do solo, mesmo diante dos processos naturais permanentes de acidificação, o que é benéfico para a microbiota do solo que, em geral, não suporta a variações bruscas de pH (MICHEREFF et al., 2005).

De acordo com as classes de interpretação de fertilidade de solos (RIBEIRO et al., 1999), os valores de Soma de Bases (Tabela 7) foram classificados como médio ou bom com os pós de rocha sem vermicompostar e muito bom quando vermicompostados, o que indica maior disponibilidade de bases para as plantas. O aumento do teor de bases, leva também ao aumento da CTC, como observado (Tabela 7). O aumento da CTC amplia a capacidade de adsorção de cátions (ARAÚJO et al., 2002), o que é importante para retenção de nutrientes e metais pesados (AMARAL SOBRINHO et al., 2016). O aumento da disponibilidade do P, variando de baixo até muito bons, quando vermicomposto com ou sem pós de rochas foram adicionados (Figura 8), se deve, possivelmente, não apenas à presença de P no vermicomposto e na rocha (baixa principalmente no esteatito, onde houve as maiores alterações nos teores de P; Tabela 2 e Figura 8). No caso do esteatito, este aumento se deve especialmente em função da competição do silício (possivelmente liberado pelas rochas) nos sítios de adsorção do fosfato que já estavam presentes no solo, mas possivelmente indisponíveis, por estarem fixados na estrutura das argilas oxídicas, comuns em Latossolos. Embora a afinidade dos óxidos de Fe e Al do solo pelo fosfato seja maior que pelo silício (Si), a presença de Si pode contribuir para retardar o processo de fixação, mantendo o P um pouco mais disponível, bem como o Si pode ocupar os sítios de troca e liberar o P.

Entretanto, Owino-Gerroh e Gascho (2005) verificaram que a adição de silicato de cálcio ao solo, previamente à adubação fosfatada, aumentou o conteúdo de P nas plantas de milho. Os autores atribuíram tal aumento à elevação do pH resultante da aplicação de silicatos, o que também ocorreu com a aplicação de esteatito. Além disso, deve-se ter em mente que o extrator Mehlich-1 é capaz de solubilizar as apatitas (mineral acessório das rochas) e assim superestimar um pouco a real biodisponibilidade desse elemento no solo (SANTOS; KLIEMANN, 2005).

O aumento dos teores de K, considerados médios no tratamento G<sub>vc</sub> e baixos para E<sub>vc</sub> (Figura 8), indica que o processo de vermicompostagem favoreceu a aceleração dos processos de intemperismo dos minerais (SOUZA et al., 2018), principalmente do gnaisse, o que pode ter contribuído não só para a liberação K. Os processos de intemperismos podem ter contribuído para a liberação de outros macronutriente como Ca e Mg (Figura 8).

Em E e E<sub>vc</sub>, os maiores teores de Mg<sup>2+</sup> no solo (Figura 8), provavelmente também ocorreram devido aos altos teores de Mg na rocha (Tabela 2) e alta susceptibilidade

ao intemperismo químico de seus minerais, em especial no talco, que compõe cerca de 70% da sua composição. Além disso, a presença de cloritas e dolomitas (dois minerais que possuem Mg em suas estruturas) segundo Martins et al. (2010) pode ter contribuído para aumentar os teores de  $Mg^{+}$  no substrato. Ainda que o processo de intemperismo seja distinto (a dolomita pelo processo de dissolução e a clorita pelo processo de hidrólise) ocorre o consumo de  $H^{+}$ , o que eleva o pH (HARLEY; GILKES, 2000).

Os processos de intemperismo dos minerais (SOUZA et al., 2018) pode ter contribuído não só para macronutriente, mas também de micronutrientes, como Zn e Mn nos tratamentos com  $E_{vc}$  e Cu nos tratamentos com  $G_{vc}$  (Figura 9). O Ni e o Cr, presentes em níveis elevados nos pós de esteatito (Tabela 2), foram detectados em menores quantidades em  $E_{vc}$  (Figura 9), o que ocorreu provavelmente devido a processo de complexação desses metais pela matéria orgânica, adicionada através do processo de vermicompostagem. Alguns metais pesados possuem afinidade pela matéria orgânica. Com isto, embora presente nas rochas e nos solos, eles se tornam não ou menos disponíveis para a absorção pelas plantas. Sugere-se maior atenção para estes dois metais em futuras pesquisas com o pó de esteatito, especialmente se aplicado repetidas vezes, o que pode levar à elevação dos teores destes elementos no solo acima da capacidade de complexação do solo. Segundo Alloway (1990), em relação aos outros metais pesados, o Ni apresenta maior mobilidade no solo, o que também merece atenção devido ao potencial poluidor do lençol freático. Outra questão a ser considerada, é de que as análises foram realizadas utilizando-se Mehlich-1, e os valores de referência quando estabelecidos são obtidos pela metodologia do UESPA 3051A, que extrai teores maiores, e por isso, os valores de Ni, Cd e mesmo Cr (não há limites estabelecidos para o Cr em remineralizadores, Tabela 5) podem estar subestimados.

### **4.3. Conteúdo e biodisponibilização de nutrientes para as plantas**

A maior disponibilidade de nutrientes dos pós de rochas vermicompostados (Tabelas 8 e 9) aumentou a absorção (e os conteúdos) de macronutrientes, como P, K, Ca e Mg e melhorou o desenvolvimento das plantas (Figuras 4, 5 e 7). Estes são nutrientes muito requeridos pelas mudas de café na fase inicial de crescimento (CLEMENTE et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009).

A maior biodisponibilização de macro e de micronutrientes com o processo da vermicompostagem reforça a importância dos processos biológicos associados ao uso de pós de rochas. Em experimentos com milho adubados com pó de gnaise vermicompostado, Souza et al. (2018) observou maior liberação de P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>, quando comparado ao vermicomposto puro, indicando a importância da atuação de microrganismos, quando associados aos pós de rocha, para catalização dos processos de liberação de macronutrientes presentes nos minerais.

A maior biodisponibilização de alguns nutrientes em Evc, mesmo quando eles ocorrem em maiores quantidades no pó de gnaise, a exemplo do P e Zn, pode estar relacionada a maior facilidade de intemperismo alguns minerais presentes no esteatito, a exemplo de dolomitas e dos anfibólios (CARVALHO, 2012). O biointemperismo pode ter sido facilitado, também, pela menor granulometria do pó de esteatito utilizado. Tanto o pó de gnaise quanto de esteatito passaram pela peneira de 200 mesh, entretanto, o esteatito, possivelmente em função da menor dureza do talco, possuía uma maior fração de materiais ultrafinos, o que amplia as superfícies específicas dos grãos, favorecendo os processos de dissolução.

As maiores quantidades de K biodisponibilizadas nos tratamentos com pó de gnaise, principalmente quando vermicompostado (Gvc) quando comparados aos tratamentos com gnaise puro e com esteatito, indicam a potencialidade do uso dos subprodutos derivados da exploração de gnaise para a agricultura, principalmente se associado a processos biológicos, como a vermicompostagem (Figura 10). Rochas gnáissicas são uma das principais formadoras do embasamento cristalino brasileiro (MARTINS et al., 2010) e são muito utilizadas principalmente na construção civil (MARTINS et al., 2015). Dessa forma, o uso na agricultura dos subprodutos da mineração de gnaise pode contribuir para diminuir a dependência externa do Brasil na aquisição de fontes de potássio, que é um dos itens principais da importação brasileira (KINPARA, 2003). A Rússia e Bielorrússia são os principais fornecedores de K para o Brasil e, em tempos de guerra, esta importação está ameaçada. O uso de pós de rocha como uma das alternativas para a fertilização dos solos pode ainda evitar a mineração de fontes de K presentes em terras indígenas, como desejada pelo atual governo brasileiro<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Nota da Federação Brasileira de Geólogos, sobre o PL191/2020: [https://drive.google.com/file/d/1T\\_yM6beXI7DpUCPEZmG01HMJhyYmdDTI/view](https://drive.google.com/file/d/1T_yM6beXI7DpUCPEZmG01HMJhyYmdDTI/view); nota dos geólogos sobre a

Além dos macronutrientes, a biodisponibilização de micronutrientes como Zn e Cu é importante para a cultura do cafeeiro. Estes são considerados os micronutrientes de maior importância para o desenvolvimento do cafeeiro (MARTINEZ et al., 2014). Baixos teores de Zn podem afetar principalmente o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro (FÁVARO, 1992). O Zn, assim como Cu e P, não fazem parte dos minerais mais comuns do gnaíse e do esteatito, mas estão presentes em seus minerais acessórios (RODRIGUES et al., 2010). O Zn pode ainda substituir o  $\text{Ca}^{2+}$  na estrutura dos minerais fosfatados, como as hidroxiapatitas, e por isso o aumento da disponibilidade nos tratamentos com pó de esteatito (MIYAJI et al., 2005; REN et al., 2009, CARVALHO, 2012) e gnaíse (Figura 11). O Cu é um componente importante de muitas enzimas e proteínas e participa de inúmeras rotas metabólicas (MARSCHNER, 2012). A maior biodisponibilização do Cu nos tratamentos com pós de gnaíse reforça o potencial de uso dos subprodutos derivados do gnaíse para a agricultura, principalmente no cafeeiro.

O Mn, embora disponibilizado no processo de vermicompostagem, em especial na presença de pós de rocha, é um micronutriente que, em geral, não causa deficiência ou toxicidade (GUIMARÃES et al., 2010). Entretanto, o Mn pode auxiliar nos processos de complexação dos metais pesados (SANTANA; BARRONCAS, 2007), o que pode ter contribuído para diminuir a disponibilidade de Ni e Cr no solo no tratamento Evc.

Embora nos substratos com esteatito, os metais Ni, Cd e Cr estivessem acima do limite estabelecido pela Instrução Normativa nº 27 de 06/2006, para adubos orgânicos, o processo de vermicompostagem diminuiu a biodisponibilização de alguns deles para as plantas (Figura 11), graças as reações de adsorção ou complexação entre esses elementos e os demais componentes do solo (MCBRIDE, 1989). Os metais pesados podem ser adsorvidos por colóides orgânicos (CANELLAS et al., 1999) e inorgânicos, dentre os quais se incluem os minerais de argila silicatados (MCBRIDE, 1989) e oxídicas, que podem adsorver altas quantidades de alguns metais pesados (ARAÚJO et al., 2002). Na adsorção não-específica, os cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  podem deslocar o metal ligado eletrostaticamente aos sítios negativos das hidroxilas

funcionais das argilas silicatadas e oxídicas (Fe e Al). O mecanismo envolvido é o de formação de complexo de esfera externa (ARAÚJO et al., 2002).

O complexo formado na condição em que há afinidade do metal de transição hidrolisado pela superfície adsorvente pode evoluir para um complexo de transição (MCBRIDE, 1994), no qual há liberação de um próton, abrindo a estrutura formada. Já na absorção específica, os cátions  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  não conseguem deslocar os íons metálicos fortemente adsorvidos. Nesse tipo de adsorção, há liberação de dois prótons, e a estrutura é fechada, o mecanismo envolvido é a formação de complexo de esfera interna com os metais pesados (KALBASI et al., 1978).

O Ni, em baixas concentrações na planta é considerado um nutriente essencial (PIRES; ANDRADE, 2006) e participa de processos metabólicos como ativador da urease (WOOD et al., 2006), mas em altas concentrações ele é tóxico. No substrato enriquecido com pó de esteatito, vemicompostado ou não (Figura 11), o Ni apresentou teores acima do permitido por lei (Tabela 5), entretanto, na parte aérea das plantas ele não foi detectado (Tabela 9). Além disto, as plantas não apresentaram sintomas de toxidez de Ni, como clorose nas folhas (PAVAN; BINGHAM, 1982). A disponibilidade de Ni nos substratos adubados com pós de esteatito (Figura 10) pode ter contribuído para aumentar a absorção de Mn e Zn (Tabela 9), conforme apontado por Pavan e Bingham (1982) em estudo de mudas de café arábica adubadas com diferentes doses de Ni.

Embora seja conhecido por sua ocorrência como  $\text{Cd}^{2+}$ , o cádmio pode também formar vários íons complexos [ $\text{CdCl}^+$ ,  $\text{CdOH}^+$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_3$ ] e quelatos orgânicos (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001), provável fenômeno ocorrido com esse elemento presente no pó de esteatito. Segundo Alloway (1995), os fatores mais importantes que controlam a mobilidade de íons Cd no solo são pH e potencial de oxidação. Os oxidróxidos de Fe, Al e Mn, os minerais argilosos e a matéria orgânica são os principais adsorventes de Cd no solo. Entretanto, mesmo disponível na rocha, o Cd não foi encontrado nas plantas. Além da reação com o solo, deixando-o indisponível com o tempo, elevados teores de Fe (como é caso do latossolo utilizado na presente pesquisa) também possuem a capacidade de inibir a absorção de Cd pelas plantas que por sua vez, quando presente reduz a absorção de P (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Embora presente no substrato (Figura 9), o Pb não foi detectado nas plantas. Segundo Linhares et al. (2009), o Pb possui uma dinâmica semelhante ao Cd nos

processos de imobilização e disponibilização no solo, onde os principais ligantes de um e de outro são semelhantes. Nos solos, os óxidos de Fe e Al geralmente apresentam uma retenção por meio da quimiossorção (LINHARES et al., 2009), que representa uma adsorção altamente específica e de forte energia, resultando na formação de complexos de esfera interna (NOVAIS; MELO, 2007). Essas ligações tornam o elemento pouco móvel nos solos (diferente do Cd), uma vez que são menos reversíveis que as ligações de troca iônica (SILVA; VITTI, 2008). Quanto às interações onde o Pb participa, a interferência deste metal com o Ca é muito relatada na literatura e ocorre uma vez que o chumbo pode imitar o comportamento do Ca. Com isso a prática da calagem pode reduzir a absorção de Pb, principalmente em solos com menores teores de matéria orgânica. Além disso, o fósforo inibe a absorção de Pb devido a formação de fosfatos insolúveis no solo (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 2001).

Embora os teores de Cr no substrato apresentaram-se acima dos valores permitido pela legislação (Tabela 5), ele não foi absorvido pelas plantas (Tabela 8), diferente dos resultados obtidos por Souza et al. (2018) em folhas de milho. Entretanto, a principal fonte de Cr no estudo de Souza et al. (2018) foi o esterco bovino utilizado na vermicompostagem. Os autores então indicaram o uso do pó de gnaisse na agricultura e a recomendarem maiores estudos sobre os pós de esteatito, principalmente devido aos teores de Cr e Ni.

#### **4.4. Índice de PCA global**

A PCA (Figura 12) indicou que, que os pós de rocha possuem potencial de serem utilizados na agricultura, inclusive orgânica, em especial quando associados a uma fonte orgânica, como já apontado por Souza et al. (2018), pois de forma geral, o desenvolvimento das plantas foi melhor quando pós de rochas foram adicionados ao substrato, principalmente quando vermicompostados.

Mesmo com a presença de alguns metais pesados na rocha e no substrato e, no caso do pó de esteatito, com Ni e Cr acima dos limites de referência estabelecidos, estes não foram absorvidos e não prejudicaram o desenvolvimento das plantas. Não se sabe qual o comportamento destes elementos com aplicações continuadas ao longo do tempo, o que precisa ser melhor investigado, especialmente em campo.



Embora sejam necessários estudos ainda mais aprofundados relativos ao uso de alguns pós de rocha devam ser realizados, alguns questionamentos já podem ser feitos. (1) O uso de pós de rochas semelhantes ou iguais às rochas que originaram os solos de uma região, pode contribuir efetivamente para o aumento da disponibilização de metais pesados presentes nestas rochas? Por exemplo, os solos da região da Zona da Mata são originários de gnaiss e ao utilizar pós de gnaiss oriundo da própria região para os cultivos espera-se não ter muita preocupação com os metais pesados, pois aqueles presentes nos pós de gnaiss já existem naturalmente no solo da região.

Uma outra questão refere-se as exigências na legislação. A Portaria nº 52/2021 (MAPA, 2021) estabeleceu os limites máximos de contaminantes em massa seca das plantas, referentes ao Cr hexavalente não presentes em instruções normativas anteriores, que incluía apenas o Cr trivalente, que é menos tóxico. O cromo é um metal pesado que ocorre nos estados de oxidação trivalente [Cr(III)] e hexavalente [Cr(VI)] (SILVA, 2003), podendo ser geoquimicamente se associar às rochas ultramáficas que contêm augita e diopsídio, ambos cromíferos (KLEIN, 2002). Em mananciais subterrâneos, esses minerais são capazes de sofrer dissolução, liberando, para a água, Cr(VI), por meio de reação redox na presença de manganês [Mn(II) ou Mn(IV)] (OLIVEIRA et al., 2021). A presente pesquisa não realizou as análises do Cr hexavalente, entretanto, os pós de rochas utilizados não são oriundos de rochas ultramáficas.

Diversas pesquisas apontam técnicas de manejo que consigam realizar a diminuir o Cr hexavalente. Dentre as técnicas, o uso de vermicompostagem e a incorporação de matéria orgânica no solo (CASTILHOS et al., 1999) são apontadas. Estas técnicas já são incorporadas pelos agricultores agroecológicos. Pesquisas mais aprofundadas sobre a disponibilização do Cr hexavalente advindo de pós de rocha são necessárias, para evitar que a legislação limite ou dificulte, sem necessidade, a utilização desses materiais na agricultura orgânica.

## **5. CONCLUSÃO**

Os pós de gnaiss e esteatito, puros ou vermicompostados, possuem potencial de uso para a produção de substratos para o cultivo de mudas de espécies perenes

arbóreas e, também, no caso do gnaïsse, para outros cultivos, principalmente em sistemas orgânicos.

Entretanto, o ideal é que estes pós de rochas sejam vermicompostados e ou associados a outros processos biológicos, pois o processo de vermicompostagem associado a estes pós rochas contribuiu para a maior liberação de nutrientes em relação aos tratamentos controle (pós de gnaïsse e esteatito puros ou vermicomposto sem rocha) e favoreceram o desenvolvimento das mudas de café. Além disto, o processo de vermicompostagem diminuiu a biodisponibilização de metais pesados presentes nos pós de rochas.

Mesmo com potencial, o uso do pó de esteatito, puro ou vermicompostado, requer cuidados, devido à presença de alguns metais pesados em especial o Ni e Cr. Para compor substratos para a produção de mudas, em especial de espécies perenes que não tenham a finalidade de produção de alimentos, os pós de esteatito vermicompostado podem ser utilizados já que as quantidades utilizadas para composição desses substratos são pequenas e não se repetirão em adubação de campo. Neste caso, os pós de esteatito oriundos da fabricação de artesanato, muito comum na região de Ouro Preto e Mariana, e que necessitam de destino adequado, poderiam ser utilizados para a produção de mudas de espécies arbóreas, para serem utilizadas nos processos de recuperação de áreas degradadas pela mineração, também comum na região. Entretanto, por precaução, o uso do pó de esteatito de forma mais ampla necessita de estudos de longa duração para o entendimento da dinâmica dos metais pesados e sua disponibilização ou não para o sistema solo-planta ao longo do tempo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. 2 ed. New York: Blackie Academic e Professional, 1995. 368 p.

ALMEIDA, S. L. S.; COGO, F. D.; GONÇALVES, B. O.; RIBEIRO, B. T.; CAMPOS, K. A.; MORAIS, A. R. Adição de resíduos orgânicos ao substrato para produção de mudas de café em tubete. Revista Agroambiental, Pouso Alegre, v. 3, n. 2, p. 9-13, ago. 2011. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n22011326>

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; BARRA, C. M.; LÃ, O. R. Química dos metais pesados no solo. 2009. In: Química e Mineralogia do Solo, Parte II. SBCS, Viçosa, 685p. 2016.

ARAÚJO, W. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B., MAZUR, N.; GOMES, P. C. Relação entre adsorção de metais pesados e atributos químicos e físicos de classes de solo do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 26:17-27, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000100003>

BARKER, W. W. WELCH, S. A; BANDIELD, J. F. Biogeochemical weathering of silicate minerals. Reviews in Mineralogy, 35: 419-428, 1997.

BAMBERG, A. L.; SILVEIRA, C. A. P.; MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; TONIOLO, J. A.; GRECCO, M. F.; POTES, M. L. Desempenho agrônomo de fontes minerais e orgânicas de nutrientes para as culturas de milho e trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, Poços de Caldas. Anais... Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013. p. 24-31. 2013.

BEERLING, D.J., LEAKE, J.R., LONG, S.P. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. Nature Plants 4, 138–147. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>.

BRASIL. 2013. Lei nº 12.890 de 10 de dezembro de 2013. Mudanças da Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como insumo para agricultura. Acessado em 01 de set de 2018. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm/](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm/).

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, 14 mar. 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumosagricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 30 maio. 2020.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MORAES, A.; RUMJANEK, V. M. Adsorção de  $\text{Cu}^{2+}$  e  $\text{Cd}^{2+}$  em ácidos húmicos extraídos de resíduos orgânicos de origem urbana. Ci. Rural, 29:21-26, 1999. <https://doi.org/10.1590/S0103-84781999000100005>

CARPENTER, D., HODSON, M. E., EGGLETON, P., KIRK, C. Earthworm-induced mineral weathering: preliminary results. European Journal of Soil Biology, 43, 176-183. 2007.

CARVALHO, A. M. X. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. PhD thesis, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 116 p. 2012.

CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, M. E. P.; THEODORO, S. M. C. H. Cap. Livro. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? Solos e Agroecologia. 1ed. Brasília: Embrapa, v. 4, p. 103-128. 2018.

CARVALHO, A. M. X.; MENDES, F. Q.; TAVARES, L. F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. Crop Breeding and Applied Biotechnology, 20(3): e327420312, 2020.

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. Redução do Cr em solo suprido com lodo de curtume e Cr hexavalente. Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas, v.5, n. 3, p. 228- 232, set-dez, 1999.

CLEMENTE, T.V. F.; GUIMARÃES, J. R.; CARVALHO, G. J. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós- plantio primeiro ano. p. 53-55, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000300012>

CPRM. Serviço geológico do Brasil. Geologia da folha de Manhuaçu. SF.23-X-B-III. Programa Geologia do Brasil. Levantamentos geológicos básicos. 2007. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/pgb/rel\\_manhuacu.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/rel_manhuacu.pdf). Acessado em: 24 de março de 2022.

CUPERTINO, M. C.; SOUZA, M. E. P.; FRANCO, E. H.; CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M. Sistematização das experiências com pó de rocha na Zona da Mata mineira Cadernos de Agroecologia, [S.l.], v. 10, n. 3, may 2016. ISSN 2236-7934. ... 3 (2015): Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia. 2016.

DIAS, K. G. L.; GUIMARÃES, P. T.; CARMO, D. L., REIS, T. H. P., LACERDA, J. J. J. Fontes alternativas de potássio em cafeeiros para melhoria da fertilidade do solo, da produtividade e da qualidade de bebida. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.53, n.12, p.1355-1362, Dec. 2018. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200008>

EPA 3052. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically based matrices. Washington, USA: Revision, December, CD-Rom. Windows 95/XP. 2004.

ESKEW, D. L.; WELCH, R. M.; CARY, E. E. Nickel and essential micronutrient for legumes and possibility all higher plants. Science, Washington, v. 222, p. 691-693, 1983.

FÁVARO J. R.A. Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta a nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 91p. 1992.

FONTES, M. P. F.; CAMARGO, O.; SPOSITO, G. Eletroquímica das partículas coloidais e sua relação com a mineralogia dos solos altamente intemperizados. Scientia Agricola, v.58, n.3, p.627-646, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162001000300029>

GLIESSMAN, S. R. Agroecology: a global movement for food security and sovereignty. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM AGROECOLOGY FOR FOOD SECURITY AND NUTRITION PROCEEDINGS OF THE FAO INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 2014, Rome. [Proceedings...]. Rome: FAO, 2015. p. 1-13.

GONÇALVES, S. M.; GUIMARÃES, R. J.; CARVALHO, J. G.; BOTREL, E. G. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea*

arabica L.) produzidas em tubetes. *Ciência e agrotecnologia*. Vol. 33, no. 3 pp. 743 – 752. 2009.

<https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000300012>

GUIMARÃES, R. J. MENDES, A. N. G.; BALIZA, D. P. *Semiologia do cafeeiro: sintomas de desordens nutricionais, fitossanitárias e fisiológicas*. Lavras: Editora UFLA, 215p. 2010.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrition elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56:11-36, 2000.

HINES, W. G. S.; O'HARA HINES, R. J. Increased Power with Modified Forms of the Levene (Med) Test for Heterogeneity of Variance. *Biometrics*, 56: 451–454, 2000.

JARQUE C.; BERA, ANIL K. F. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals: Monte Carlo Evidence. 1981.

KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. *Trace elements from soil and plants*. Berlim: Springer. 315p. 2001.

KALBASI, M.; RACZ, G. J.; RUDGERS, L. A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminium oxides. *Soil Sci.*, 125:146-150, 1978.

KINPARA, D. I. *A importância estratégica do potássio para o Brasil*. Planaltina – DF. Embrapa. Documentos 100. ISSN 1517-5111. 2003.

KLEIN, C. *Manual of mineral science (after James D. Dana)*. 22nd Ed. New York: John Wiley & Sons; 2002.

LINHARES, L. A., EGREJA FILHO, F. B., OLIVEIRA, C. V., BELLIS, V. M. Adsorção de cádmio e chumbo em solos tropicais altamente intemperizados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 3, p. 291-299, 2009.

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 5, p. 1448-1456. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500010>

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 52 de março de 2022. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção e as listas de substâncias e práticas para o uso nos Sistemas Orgânicos de Produção. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-52-de-15-de-marco-de-2021-310003720>. Acessado em: 10 de junho de 2022.

MARANA, J.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E.; KAINUMA, R. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. *Ciência Rural*, ISSN 0103-8478, Vol. 38, Nº. 1, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000100007>

MARSCHNER P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3<sup>a</sup>ed. New York, Academic Press. 651p. 2012.

MARTINS, E. S.; RESENDE, A. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. *In*: FERNANDES, F. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Eds). *Agrominerais para o Brasil*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 380p. 2010.

MARTINS, M. P.; AGUIAR, N. C. A.; AZEVEDO, A. R. G.; ALEXANDRE, J.; MONTEIRO, S. N.; MARGEM, F. M.; VIEIRA, C. M. F. Caracterização do pó de pedra de gnaiss para produção de concreto. Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2015.

MARTINEZ, H. E. P.; CLEMENTE, J. M.; LACERDA, J. S.; NEVES, Y. P.; PEDROSA, A. W. Nutrição mineral do cafeeiro e qualidade da bebida. *Solos e Nutrição de Plantas*. *Rev. Ceres* 61 (suppl). 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737x201461000009>

McBRIDE, M. B. Reactions controlling heavy metals Solubility in soils. *Adv. Soil. Sci.*, 10:1-56, 1989.

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

MENEGHELLI, L. A. M.; LO MONACO, P. A. V.; KRAUSE, M. R.; GUI SOLFI, L. P.; ALMEIDA, K. M.; VALLE, J. M.; VIEIRA, G. H. S. Utilization of agricultural residues as alternative substrates in the production of Conilon coffee seedlings. Journal of Experimental Agriculture International, v. 21, n. 4, p. 1-6, 2018. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/39797>

MENEZES, R. R.; NEVES, G. A.; FERREIRA, H. C.; O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6, n.2, p.303-313, 2002. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000200020>

MICHEREFF, S. J., ANDRADE, D.E.G.T.; MENEZES, M. Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais. ISBN 85-87459-09-0 Recife, UFRPE. 2005.

MIYAJI, F.; KONO, Y.; SUYAMA, Y. Formation and structure of zinc-substituted calcium hydroxyapatite. Materials Research Bulletin, 40:209-220, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2004.10.020>

MOURA, W. M. LIMA, P. C.; FAZUOLI, L. C.; CONDÉ, A.A.T.; SILVA T. C. Desempenho de cultivares de café em sistema de cultivo orgânico na zona da mata mineira. Coffee Science, Lavras, v. 8, n. 3, p. 256-264. 2013.

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação Solo-Planta. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do Solo. Viçosa: Editora SBCS, p. 133-205. 2007.

OLIVEIRA, F. L. V.; KUNO, R.; NASCIMENTO, F. P.; GOUVEIA, N. Exposição potencial a baixas doses de cromo por via oral e mortalidade por câncer de estômago na população do interior do Estado de São Paulo, Brasil. Cad. Saúde Pública. 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00020020>



OWINO-GERROH, C.; GASCHO, G. J. Effect of silicone on low pH soil phosphorus sorption and on uptake and growth of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 35: 2369-2378, 2005.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. Toxidez de metais pesados em plantas: II. Caracterização da toxidez de níquel em cafeeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 17, n. 2, p. 323-328, 1982.

PICARDO, M.; FERREIRA, C. A. Continuous thorium biosorption – Dynamic study for critical bed depth determination in a fixed-bed reactor. *Bioresource Technology*, v. 100, p. 208-210, 2009.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. Metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. In: Sposito, C.; Ribeiro, W. (ed.). *Gestão de resíduos na agricultura e agroindústria*. Botucatu: FEPAF, p.205-232. 2006.

RAPOSO F. O. (ORG.). Texto explicativo e mapas (geológico e metalogenético), escala 1:100.000. Rio Espera, Folha SF. 23-X-B-IV, Estado de Minas Gerais. Brasília: DNPM-CPRM: Programas Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB. 200 p. 1991.

REIS, P. R.; CUNHA, R. L. *Café Arábica do plantio à colheita*. 1ª ed. 1 v. Lavras: UR EPAMIG SM, 896 p. 2010.

REN, F.; XIN, R.; GE, X.; LENG, Y. Characterization and structural analysis of zinc-substituted hydroxyapatite. *Acta Biomaterialia*, 5:3141-3149, 2009.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais – 5º Aproximação*. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Sbcs. 360p. Viçosa, MG. 1999.

RICCI, M. dos S. F.; ARAÚJO, M. C. F.; FRANCH, C. M. C. *Cultivo orgânico do café: recomendações técnicas*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.

RODRIGUES, A. F. S.; FONSECA, D. S.; PARAHYBA, H. R. E.; CAVALCANTE, V. M. M. Agrominerais: recursos e reservas. In: FERNANDES, F. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Ed.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 23-44. 2010.

ROSNER B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. *Technometrics*, v. 25, n. 2, p. 165-72, 1983.

SANTANA, G.; BARRONCAS, P. S. R. Estudo de íons de metais (Co, Cu, Fe, Cr, Ni, Mn, Pb e Zn) na Bacia do Tarumã-Açu Manaus (AM). *Acta Amazonica*, 37(1): 111-118. 2007.

SCARAMUZZO, M. Alta de preço do café convencional afeta avanço do orgânico: café orgânico. *News Cafeicultura*, ago. 2005.

SCHIEDECK, G., SCHWENGBER, J. E., GONÇALVES, M.M., SCHIAVON, G.A., CARDOSO, J.H. Minhocário Campeiro de Baixo Custo para Agricultura Familiar. Embrapa Clima Temperado. Comunicado Técnico, 171. pp. 1-4. 2007.

SILVA, C. S. Cromo. In: AZEVEDO, F. A; CHASIN, A. A. M. Metais: gerenciamento da toxicidade. São Paulo: Editora Atheneu; p. 35-65. 2003.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C. Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. *Química Nova*, v. 31, n. 6, p. 1385-1391, 2008.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2 Ed. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas. 627p. 2009.

SILVA, V. N.; SOUZA, F.; SILVA L.; SILVA, A. J. N.; STAMFORD, N. P.; MACEDO, G R. Solubility curve of rock powder inoculated with microorganisms in the production of biofertilizers. *Agriculture and Natural Resources*. Volume 51. Issue 3. p.142-147. 2017.  
<https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.01.001>

SILVEIRA, C. A. P., FERREIRA, L. H. G., PILLON, C. N. GIACOMINI, S. J. E SANTOS, L. C. Efeito da combinação de calcário de xisto e calcário dolomítico sobre a produtividade de grãos de dois sistemas de rotação de culturas. Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Brasília. Embrapa. Brasília/ DF. pp 215 – 219. 2010.

SOUZA, M. E. P.; CARDOSO, I. M.; CARVALHO, A. M. X.; LOPES, A. P.; SILVA, P. H.; JUCKSCH, I. Vermicompostagem: potencializando as funções das minhocas. *Agriculturas*. v. 12 - n. 1. março 2015.

SOUZA, M. E. P., CARDOSO, I. M., CARVALHO, A. M. X., LOPES, A. P., JUCKSCH, I., JANSSEN, A. Rock Powder Can Improve Vermicompost Chemical Properties and Plant Nutrition: an On-farm Experiment, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2018.

SUZUKI, Y., MATSUBARA, T., HOSHINO, M. Breakdown of mineral grains by earthworms and beetle larvae. *Geoderma* 112, 131-142. 2003.

TAVARES-JUNIOR, J. E. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. *Bragantia*, Campinas, v. 61, n. 2, p. 199-203, Aug. 2002. <https://doi.org/10.1590/S000687052002000200013>.

TEIXEIRA, M. F; COSTA, R. V. F. Impactos Ambientais da Extração e Beneficiamento da Rocha Esteatito (Pedra-Sabão) Um Estudo de Caso: Na Região de Santa Rita de Ouro Preto, MG. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*. Ano 2, Ed. 01, Vol. 1. pp. 257-310, 2017. ISSN:2448-0959

THEODORO, S. M. C. H. A Fertilização da terra pela Terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. 221 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2000.

THEODORO, S. H., O. LEONARDOS, E. L. ROCHA, & K. G. REGO. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço & Geografia* 9:263–92. 2006.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; REGO, K. G.; MEDEIROS, F. P.; TALINI, N. L.; SANTOS, F. dos; OLIVEIRA, N. Efeito do uso da técnica de rochagem associada à adubação orgânica em solos tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2., 2013, Poços de Caldas. Anais... Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013. p. 32-42.

THEODORO, S. H.; MEDEIROS, F. P. Uso de remineralizadores na recuperação de áreas degradadas: estudo de caso do reservatório de Três Marias/MG. Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; 2017.

USEPA. Method 3051 A 1998b. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/3051a.pdf>

VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S.; DA CUNHA, R. L.; DIAS, F. P. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, jan./fev. 2010b. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000100006>

VAN STRAATEN, P. V. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 78, n. 4, p. 731-747, Dec. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400009>

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:743-755, 2009.

ZHIYUAN, W.; WANG, D.; ZHOU, H.; QI, Z. Assessment of soil heavy metal pollution with principal component analysis and Geoaccumulation Index. Procedia Environmental Sciences, 10, 1946–1952, 2011.

WALLANDER, H. Mineral dissolution by ectomycorrhizal fungi. In: Gadd GM (ed) Fungi in biogeochemical cycles. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 328–343. 2006.

WEZEL, A.; BELLON, S.; DORÉ, T.; FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Agroecology is a science, a movement and a practice. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 29, p. 1-13, 2009.

WOOD, B. W.; REILLY, C. C.; NYCZEPIR, A. P. Field deficiency of nickel in trees: Symptoms and causes. *Acta Horticulturae*, v.721, p.83-97, 2006.

## CAPÍTULO III

### PÓS DE ROCHA APLICADOS EM CAFEIRO AGROFLORESTAL MELHORAM A QUALIDADE DO O SOLO E DA BEBIDA

#### RESUMO

Os pós de rocha utilizados como fertilizantes são considerados insumos mais sustentáveis quando comparados com às fontes solúveis e seu uso é permitido na agricultura orgânica. O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do uso do pó de gnaiss na qualidade do solo e do café agroecológicos e orgânicos cultivados em sistema agroflorestal (SAF) e a pleno sol. O estudo foi conduzido em três propriedades de agricultura familiar, no município de Divino, Minas Gerais. Análises químicas (macro, micronutrientes e metais pesados), microbiológicas (respiração e carbono da biomassa e  $\beta$ -glicosidase) e física (umidade) de solo foram realizadas. A qualidade do café foi avaliada com análises físicas, bioquímicas (condutividade elétrica, densidade dos grãos, pH e acidez total titulável) e sensoriais (prova de xícara). Os sistemas agroflorestais potencializaram os efeitos do pó de gnaiss na liberação de K,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , além de micronutrientes como Cu e Zn. Os metais pesados potencialmente tóxicos não se alteraram com a aplicação do pó de gnaiss e encontraram-se abaixo dos limites estabelecidos por lei. A umidade dos solos dos SAFs foi maior, o que pode ter favorecido a maior disponibilização dos nutrientes do pó de gnaiss. Observou-se maior  $\text{CO}_2$  da respiração microbiana, e no SAF mais antigo, maior teor de  $\beta$ -glicosidase. Os grãos de café apresentaram menor condutividade elétrica e maior densidade nos sistemas agroflorestais, indicando a produção de grãos com menor quantidade de defeitos que nos sistemas a pleno sol. Os valores de pH estavam abaixo dos valores, mas os valores de acidez total titulável estavam dentro dos limites indicados na literatura para cafés de bebida de qualidade. A análise sensorial evidenciou que o manejo agroecológico, em SAF, com ou sem pós de rocha, em geral, produziu bebida de qualidade, com notas, em geral, acima de 80, classificados como cafés especiais. Nossos resultados permitem sugerir o uso de pós de gnaiss no manejo sustentáveis de cafezais, mas associado a manejos agroecológicos, como em SAFs, que potencializem a atividade dos microrganismos dos solos e acelerar o intemperismo biológico dos minerais.

Palavras-chave: Agroecologia; adubação sustentável; pó de gnaïsse; cafés especiais; cultivo orgânico

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade do solo está relacionada à sua capacidade de funcionar para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde dos seres humanos e não humanos (DORAN; PARKIN, 1994 e 1996). O solo possibilita o crescimento das plantas, regula e compartimentaliza o fluxo de água no ambiente, estoca e promove a ciclagem dos elementos na biosfera e serve como tampão ambiental na formação, mitigação e degradação de compostos prejudiciais ao ambiente (LARSON; PIERCE, 1994; KARLEN et al., 1997).

Em geral, para a avaliação da qualidade do solo utiliza-se indicadores físicos, químicos e biológicos. Esses indicadores apontam alterações nas funções ecológicas em consequência do seu uso e manejo (JACKSON et al., 2003; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; ARAÚJO; MELO, 2010) e por isto podem ser utilizados para avaliar a qualidade do solo. Esses indicadores de qualidade nunca devem ser analisados de maneira isolada (FREITAS et al., 2012; ROUSSEAU et al., 2012), mas em conjunto, para se avaliar as suas funções de forma mais abrangente.

A qualidade química do solo geralmente é avaliada através de atributos como pH do solo, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes (KELLY et al., 2009; CARDOSO et al., 2013). A densidade e compactação estão entre os indicadores físicos de qualidade do solo mais utilizados (REICHARDT; TIMM, 2012). Por fim, como indicadores biológicos geralmente recorre-se à biomassa microbiana, quociente metabólico e a atividade de algumas enzimas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; COLOZZI FILHO et al., 2001; MERCANTE, 2001 e 2008).

Em agroecossistemas tropicais, a qualidade do solo depende muito da vegetação (JANDL et al., 2014) que fornece alimento para os organismos edáficos e proteção (cobertura) para o solo, especialmente quando há formação de serrapilheira. A biomassa vegetal auxilia também na melhoria da agregação, retenção de água e ciclagem de nutrientes, inclusive em profundidade (KIBBLEWHITE et al., 2008; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al., 2009).

Algumas práticas agrícolas, como a monocultura, o fogo, e a aplicação de agrotóxicos e fertilizantes solúveis podem causar perda da qualidade biológica do solo (VALLEJO et al., 2012). Ao contrário, sistemas agrícolas de base agroecológica, com



maior biodiversidade, a exemplo dos sistemas agroflorestais (SAFs), melhoram ou mantêm a qualidade do solo.

Muitos benefícios são atribuídos ao uso dos SAFs, tais como a melhoria da ciclagem de nutrientes (NAIR et al., 1999), o aumento de infiltração de água no solo (BARRETO et al., 2011), a redução da população de plantas invasoras (BEER et al., 1998; SILESHI et al., 2007), a redução das perdas de nutrientes (MONTAGNINI; NAIR, 1999; MUTUAL et al., 2005), o aumento das populações de organismos (CHANDER et al., 1998; SOUZA et al., 2012), o controle da erosão e fornecimento contínuo de matéria orgânica (NOTARO et al., 2014; TUMWEBAZE et al., 2012; SEPÚLVEDA; CARRILLO, 2015) e o aumento do estoque de carbono (JEZEER et al., 2019).

Apesar de os SAFs favorecerem a ciclagem de nutrientes no solo, muitas vezes a adubação mineral é utilizada para auxiliar no estabelecimento dos sistemas e na manutenção da produtividade das culturas. Entretanto, o uso dos adubos solúveis não é sustentável, pois, dentre outras razões, eles são provenientes de fontes não renováveis e com gasto de energia na produção, transporte e distribuição dos mesmos (FIXEN; JOHNSTON, 2012; FOLEY et al., 2005). No caso do Brasil, a grande maioria desses insumos são importados (MARTINS et al., 2010) e caros. Além disto, eles provocam salinização do solo (VIEIRA et al, 2014; PEREIRA et al., 2019). Por estas razões, a maioria dos fertilizantes solúveis não são permitidas na agricultura orgânica (Instrução Normativa 27 de junho de 2006).

Dentre as alternativas aos adubos solúveis encontram-se os pós de rochas silicatadas, especialmente após a permissão por lei (12.890/2013) destes materiais como remineralizadores. A Lei foi regulamentada pela Instrução Normativa 05/2016, do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA).

Os pós de rocha são considerados mais sustentáveis quando comparados com as fontes solúveis de adubação, pois eles são fontes de macro e micronutrientes de liberação lenta, o que resulta em efeito salino mínimo quando comparado às fontes convencionais; possuem menor susceptibilidade de perdas de nutrientes por lixiviação e; maior efeito residual no solo, o que reduz a necessidade de parcelamentos da adubação e de mão de obra para aplicar os insumos (THEODORO; LEONARDOS, 2006). Além disso, devido à melhor distribuição espacial dos remineralizadores, o transporte e a distribuição dos pós de rocha, resultam em menores gastos de energia, em menor preço e menor concentração do mercado de fertilizantes (FYFE et al., 2006). Por fim, aos pós de rochas tem sido atribuído a capacidade de sequestro de

carbono, o que também os tornam uma fonte mais sustentável para a agricultura, uma vez que em lugar de favorecer a emissão de gases causadores do efeito estufa, esses insumos são capazes de sequestrar e armazenar o carbono atmosférico (BEERLING et al., 2018).

Os pós de rochas estão presentes em grande parte do território brasileiro, como subprodutos da exploração mineral. Assim, o que é considerado um transtorno para o setor de exploração mineral (excesso de rejeitos), pode ser uma oportunidade para a agricultura (THEODORO; LEONARDOS, 2014).

Os pós de rocha podem ser adquiridos localmente e a baixo custo (THEODORO, 2000) e, por isto, contribuem para a autonomia dos agricultores familiares, especialmente àqueles que estão em transição para a produção orgânica ou agroecológica (ALMEIDA et al., 2007; CARVALHO et al., 2018; SOUZA et al., 2018; CUPERTINO et al., 2016). A agroecologia privilegia o uso de insumos produzidos localmente e, assim como a agricultura orgânica, aqueles que não causem danos ao ambiente (GLIESSMAN, 2016). No entanto, o uso de qualquer insumo requer testes que comprovem a sua eficácia agrônômica e a ausência de riscos ambientais.

A liberação lenta dos nutrientes dos pós de rochas silicatadas pode ser acelerada, sem, contudo, provocar efeito salino no solo. A lentidão nos processos de intemperismo dos minerais está relacionada a fatores como composição mineralógica, granulometria do material, rede de cristalização e grau de alteração dos minerais presentes, além das condições edafoclimáticas, de manejo da fertilidade, entre outros fatores. Diversos estudos apontam alternativas para catalisar o processo de intemperismo e, em consequência, facilitar a disponibilização de nutrientes para as plantas. Estas alternativas estão relacionadas às características do pó de rocha e a sistemas de manejo que aportam matéria orgânica e aumentam a atividade biológica no solo (CARVALHO, 2012; CORREIA; VASQUEZ, 2013; MARQUES; MARQUES 2013; THEODORO et al., 2012; THEODORO et al., 2014), a exemplo dos SAFs.

Os SAFs são cada vez mais utilizados por agricultores no Brasil e em diversos países (PALMAN, 1995; DAMATTA, 2007; JOSE, 2009; NOTARO et al., 2014; TIAN et al., 2013). Na Zona da Mata mineira é comum árvores consorciadas com café e pastagens (SOUZA et al., 2010; TEIXEIRA et al., 2019). Os quintais destas famílias também são considerados agroflorestais (OLIVEIRA, 2015). Os SAFs dos agricultores agroecológicos da Zona da Mata foram implantados, na década de 1990, em um processo participativo, por meio das atividades do CTA-ZM (Centro de Tecnologias

Alternativas da Zona da Mata), em parceria com a Universidade Federal de Viçosa e organizações dos agricultores. Esses sistemas foram implantados com o objetivo de enfrentar problemas relacionados à perda de qualidade do solo e para diversificar a produção (CARDOSO et al., 2001). A experiência com SAFs foi sistematizada participativamente e apontou que eles proveram diversos serviços ecossistêmicos, dentre eles a produção diversificada de alimentos (SOUZA et al., 2010) e o controle biológico (REZENDE et al., 2014). A diversificação da produção é importante para melhorar a segurança alimentar e como mecanismo para enfrentar problemas relacionados às oscilações dos preços do café, que é a principal fonte de renda da maioria dos agricultores da região (CARDOSO et al., 2001; SOUZA et al., 2010).

Um dos principais objetivos do manejo dos agroecossistemas, a exemplo dos SAFs biodiversos, é assegurar a manutenção ao longo prazo da fertilidade dos solos sem a necessidade de aportes contínuos de insumos externos, especialmente os fertilizantes solúveis. Por isto os SAFs são muito utilizados pelos agricultores agroecológicos que preferem sistemas que potencializam os processos biológicos, importantes na ciclagem contínua dos nutrientes (ALMEIDA, 2007). Estes agricultores priorizam também o uso de insumos alternativos que não comprometam sua autonomia, a exemplo dos pós de rochas.

Recentemente agricultores agroecológicos da Zona da Mata iniciaram o processo de transição para o café orgânico e estão utilizando pós de rocha como fonte de nutrientes para a produção de café, associado a processos biológicos em seus sistemas de cultivo, com manejo em SAF (SOUZA et al. 2018; CUPERTINO et al. 2016). Diversos estudos já apontam a eficácia dos pós de rocha na melhoria da fertilidade do solo e na produtividade do café cultivado a pleno sol (SILVA, 2017; DIAS et al., 2018, MANCUSO et al., 2014), mas há poucas publicações científicas sobre o a contribuição dos SAFs no aumento da disponibilidade de nutrientes presentes nos pós de rocha (SOARES, 2018). Os agricultores agroecológicos de Divino, município da Zona da Mata, apontaram, durante intercâmbios agroecológicos que são promovidos no município, a necessidade de pesquisas que contribuam para o uso de pós de rochas na transição do café orgânico, cultivado em SAFs. Estes intercâmbios agroecológicos são promovidos no município desde 2008 (ZANELLI; SILVA, 2017).

Pressupõe-se que a diversidade de plantas presentes nos SAFs e, conseqüentemente, a maior diversidade microbiana do solo, irá influenciar a

biodisponibilização dos nutrientes presentes nos pós de rocha e como isto as qualidades do solo e do café serão também melhoradas.

Além da produção de café orgânico, os agricultores agroecológicos têm buscado agregar valor produzindo café orgânico especial. A demanda por cafés especiais tem crescido no Brasil e no mundo. Segundo a BSCA (Associação Brasileira de Cafés Especiais), o consumo desses tipos de cafés no país foi de 1,7 milhão de sacas, em 2021, (BSCA, 2021). O preparo de café especial exige grãos de alta qualidade que, em geral, é determinada através de seus constituintes químicos, os quais expressam as características sensoriais de aroma e sabor (LIMA FILHO et al., 2015), importante para a classificação do café como especial.

A qualidade sensorial do café está associada à nutrição das plantas. As características químicas do solo alteram os constituintes químicos da bebida que, por sua vez, modificam as características de sabor e aroma (SALAZAR et al., 2015). Segundo estes autores, o potássio (K), o sódio (Na) e o alumínio (Al) tem relação com a fragrância e aroma. Portanto, espera-se que pós de rochas com altos teores de K, a exemplo das rochas gnáissicas, contribuam para melhorar a fragrância e aroma do café.

A percepção da acidez do café, que também afeta a qualidade sensorial da bebida, tem relação com o teor de cálcio (SALAZAR et al., 2015), outro atributo de qualidade do solo, e com a presença de ácidos não voláteis, como o oxálico, ácido málico, cítrico, tartárico e pirúvico e ácidos voláteis, como acético, propiônico, valérico e butírico, produzidos por vias endógenas relacionadas ao metabolismo de açúcares ou fermentação dos grãos (CLEMENTE et al., 2015b). Estes ácidos estão relacionados com a qualidade dos frutos determinada pela qualidade do solo, aspectos sanitários e com os cuidados pós colheitas (WINTGENS, 2008).

A avaliação sensorial é realizada por meio de painéis de provadores treinados (Speciality Coffee Association of America - SCAA, 2015) para, a partir das provas de xícara, classificarem o café em uma escala de 0 a 10. Atributos diversos como fragrância (cheiro seco), aroma (cheiro de infusão), sabor, gosto residual (adstringência), acidez, corpo, equilíbrio, doçura, uniformidade e defeitos (BRESSANELLO et al., 2017). Um café que obtenha somatório de nota superior a 80 pontos será considerado como especial (DI DONFRANCESCO et al., 2014; TOLESSA et al., 2016; OYOLA et al., 2017). Entretanto, a análise sensorial da qualidade do café que utiliza as provas de xícara é subjetiva (CLEMENTE et al., 2015a; CLEMENTE et

al., 2015b). Por isso, outras análises complementares são necessárias para avaliar a qualidade do café, a exemplo do pH, da acidez total titulável, da condutividade elétrica e da densidade (OLIVEIRA et al., 2013).

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência do uso do pó de gnaïsse na qualidade do solo e do café. Especificamente objetivou-se: i) analisar a disponibilização de nutrientes e o aporte de metais pesados presentes em pó de gnaïsse para o solo cultivado com cafeeiro em sistemas agroflorestal ou a pleno sol e; ii) analisar o efeito do pó de gnaïsse na qualidade físico-química e sensorial do café. O estudo foi conduzido em propriedades de agricultura familiar, em processo de transição para a produção orgânica de café, no município de Divino, Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Descrição geral das áreas experimentais

O estudo foi conduzido em três propriedades de agricultura familiar localizadas na comunidade de Taquaraçu, município de Divino, mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais. O clima da região é Cwa de acordo com a classificação de Köppen-Geiger. A temperatura e a pluviosidade média anual é de 19,9 °C e 1282 mm. O relevo regional é caracterizado como ondulado, com altitude média de 950 metros e temperatura média anual de 20,4°C.

As três propriedades estão em cultivo orgânico a cinco anos. As propriedades foram referidas como GA (Gilvânia e Anacleto), LA (Luís e Aparecida) e GL (Gilberto e Luciana). Em cada propriedade, duas áreas de cafezal (*Coffea arabica*) foram escolhidas para conduzir os estudos, um em sistema agroflorestal (SAF) e outra a pleno sol (PS). Informações sobre os sistemas produtivos encontram-se na Tabela 1. Os solos foram classificados (Tabela 1) de acordo com o sistema proposto pela Embrapa (2018) e maiores informações encontram-se no Anexo.

Tabela 1. Histórico e descrição dos sistemas no manejo e uso do solo nas propriedades rurais em Divino, Minas Gerais.

Propriedade	Classe de solo	Altitude	Idade de implantação do cafezal <sup>1</sup>	Manejo
-------------	----------------	----------	--	--------

<b>SAF<sub>GA</sub></b>	Argissolo Vermelho Amarelo	650 m	12 anos	Consórcio com árvores diversas. Podas das árvores duas vezes ao ano, deposição do material vegetal manejado no solo. Aplicação de calcário, fosfato natural e de esterco bovino uma vez ao ano.
<b>PS<sub>GA</sub></b>	Argissolo Vermelho Amarelo	650 m	10 anos	Consórcio com poucas bananeiras. Roçagem da braquiária nas entrelinhas duas vezes ao ano, depositada no solo. Aplicação de calcário, fosfato natural e de esterco bovino uma vez ao ano.
<b>SAF<sub>LA</sub></b>	Latossolo Amarelo	600m	15 anos	Consórcio com árvores diversas. Poda anual das árvores. Deposição do material vegetal manejado no solo. Aplicação de calcário, fosfato natural e de esterco bovino uma vez ao ano.
<b>PS<sub>LA</sub></b>	Latossolo Amarelo	600m	15 anos	Roçagem da braquiária duas vezes ao ano, nas entrelinhas. Aplicação de calcário, fosfato natural e de esterco bovino uma vez ao ano.
<b>SAF<sub>GL</sub></b>	Cambissolo Háptico	724m	20 anos	Consórcio com árvores diversas. Manejo anual de podas. Deposição do material vegetal manejado no solo. Aplicação de MAP

				(Fosfato Mono-amônico) no início da pesquisa. Aplicação de calcário, fosfato natural e de esterco bovino uma vez ao ano.
PS <sub>GL</sub>	Cambissolo Háplico	724m	20 anos	Roçagem da braquiária nas entrelinhas. Área em processo de transição agroecológica. Aplicação de calcário, fosfato natural e esterco bovino uma vez ao ano. Aplicação de MAP aplicado uma vez no início da pesquisa.

Dentre as propriedades estudadas, a propriedade GA é a que possui maior diversidade de plantas arbóreas, herbáceas e arbustivas, seguida pela propriedade GL que possui maior número de indivíduos de árvores que a propriedade LA (Tabela 2).

Tabela 2. Espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas presentes nos sistemas agroflorestais das propriedades estudadas.

Propriedades	Espécies
	<b>Arbóreas</b>
SAF <sub>GA</sub>	Ingá ( <i>inga sp.</i> ), abacate ( <i>Persea americana</i> ), pitanga ( <i>Eugenia uniflora</i> ), acerola ( <i>Malpighia emarginata</i> ), leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> ), limão ( <i>Citrus limon</i> ), jaca ( <i>Artocarpus heterophyllus</i> ), guapuruvu ( <i>Schizolobium parahyba</i> ), marianeira ( <i>Acnistus arborescens</i> ), cupuaçu ( <i>Theobroma grandiflorum</i> ), capoeira branca ( <i>Solanum sargentum</i> ), jatobá ( <i>Hymenaea sp.</i> ), carambola ( <i>Averrhoa carambola</i> ), ameixa amarela ( <i>Eriobotrya japonica</i> ).
	<b>Arbustivas/Herbáceas</b>
	Labe-labe ( <i>Lablab purpureus</i> ), banana ( <i>musa</i> ), mamão ( <i>Carica papaya</i> ), cana-de-açúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ), taioba ( <i>Xanthosoma sagittifolium</i> ), mamona ( <i>Ricinus communis</i> ), erva mate ( <i>Ilex paraguariensis</i> ), espinheira santa ( <i>Maytenus ilicifolia</i> ), abóbora ( <i>Cucurbita</i> ).

<b>Arbóreas</b>	
<b>SAF<sub>LA</sub></b>	Capoeira branca ( <i>Solanum sargentum</i> ), leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> ), marianeira ( <i>Acnistus arborescens</i> ), ipê amarelo ( <i>Handroanthus albus</i> ).
<b>Arbustivas/Herbáceas</b>	
	Bananeiras ( <i>musa</i> ), Labe-labe ( <i>Lablab purpureus</i> ).
<b>Arbóreas</b>	
<b>SAF<sub>GL</sub></b>	Capoeira branca ( <i>Solanum sargentum</i> ), marianeira ( <i>Acnistus arborescens</i> ), leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> ), acerola ( <i>Malpighia emarginata</i> ).
<b>Arbustivas/Herbáceas</b>	
	Bananeiras ( <i>musa</i> ).

A caracterização do solo (Tabela 3) de cada área foi realizada, antes da aplicação do pó de gnaíse. Foram coletadas amostras compostas nas áreas de sistema agroflorestral (SAF) e nas áreas de pleno sol (PS) nas três propriedades analisadas.

Tabela 3. Características químicas dos solos cultivados com café em sistema agroflorestral (SAF) e a Pleno Sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica (GA, LA, GL) na profundidade de 0-20 cm, no município de Divino, Minas Gerais.

	<b>pH</b>	<b>P</b>	<b>K<sup>+</sup></b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>Al<sup>3+</sup></b>	<b>H+Al</b>	<b>SB<sup>1</sup></b>	<b>t<sup>3</sup></b>	<b>T<sup>4</sup></b>	<b>V</b>	<b>M</b>
	(H <sub>2</sub> O)	-- mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							-- % ---	
<b>SAF<sub>GA</sub></b>	5,35	2,8	112	2,97	0,77	0,0	4,3	4,0	4,03	8,30	57	0
<b>PS<sub>GA</sub></b>	5,40	1,2	50	2,18	0,84	0,0	3,7	3,15	3,15	6,85	46	0
<b>SAF<sub>LA</sub></b>	5,71	10,1	87	2,61	0,74	0,0	2,7	3,57	3,57	6,27	48	0
<b>PS<sub>LA</sub></b>	5,84	1,2	116	2,38	0,96	0,0	3,3	3,64	3,64	6,94	52	0
<b>SAF<sub>GL</sub></b>	6,14	28,2	280	4,92	1,41	0,0	2,8	7,05	7,05	9,85	71	0
<b>PS<sub>GL</sub></b>	6,26	2,4	141	3,92	1,33	0,0	3,9	5,61	5,61	9,51	59	0

	<b>MO<sup>5</sup></b>	<b>P-rem<sup>6</sup></b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>
	dag	mg L <sup>-1</sup>	----- mg kg <sup>-1</sup> -----								
	kg <sup>-1</sup>										
<b>SAF<sub>GA</sub></b>	2,33	28	0,28	1,54	56,5	39,5	2,14	0,02	1,21	0,36	2,42
<b>PS<sub>GA</sub></b>	2,58	21,5	0,32	1,41	169,8	61	2,6	0,24	1,69	0,39	0,71
<b>SAF<sub>LA</sub></b>	1,55	36,8	0,31	0,85	85,4	27,3	3,12	0,02	0,87	0,01	1,06
<b>PS<sub>LA</sub></b>	2,71	25,3	0,32	1,51	34,8	48,1	1,85	0	0,96	0,26	4,74
<b>SAF<sub>GL</sub></b>	2,58	28,2	0,28	1,99	105,1	58,9	7,47	0	1,37	0,28	0,56
<b>PS<sub>GL</sub></b>	4,13	19,5	0,39	0,38	11,5	41,2	1,17	0,2	0,89	0,31	0,68



<sup>1</sup>Somatório dos cátions básicos  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e K. <sup>2</sup>Capacidade de troca catiônica efetiva. <sup>3</sup> CTC potencial em pH 7,0. <sup>4</sup>Porcentagem da CTC efetiva <sup>5</sup>Matéria orgânica do solo. <sup>6</sup>Fósforo remanescente.

## 2.2 Obtenção e caracterização do pó de gnaise

O pó de gnaise foi doado pela pedreira Hersa, localizada em São João do Manhuaçu na Zona da Mata de Minas Gerais (Figura 1), onde é comercializado como material de construção. A pedreira está localizada à aproximadamente 27 km de Divino. O gnaise dessa região é caracterizado como gnaise migmatítico enderbítico, um litotipo amplamente dominante no Complexo Juiz de Fora. A mineralogia destes gnaisses é representada por ortopiroxênio, plagioclásio, clinopiroxênio, biotita, quartzo e hornblenda. Como acessórios ocorrem zircão, apatita, epidoto e minerais opacos. A composição modal apresenta a seguinte variação: ortopiroxênio, plagioclásio, quartzo, biotita (CPRM, 2007).

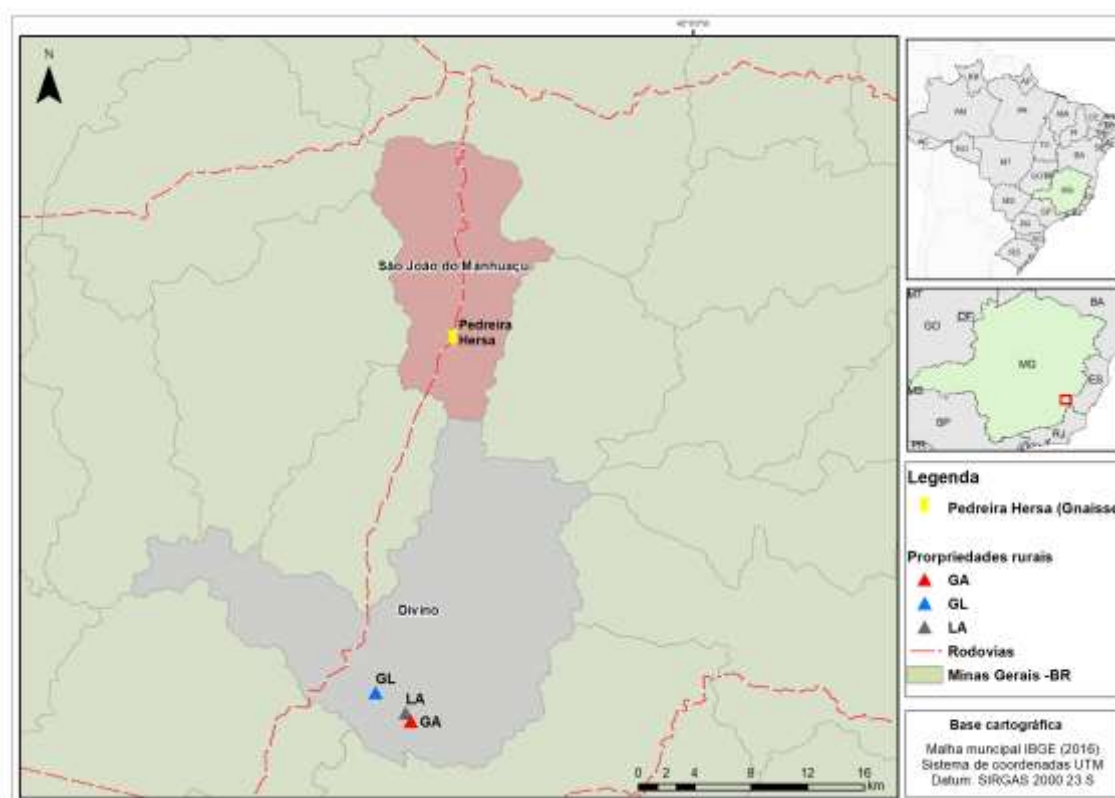


Figura 1. Localização da pedreira Hersa, origem do pó de gnaise utilizado como em pesquisas realizada em três propriedades rurais (GL, LA, GA).

Os pós de rochas foram previamente secos ao ar e passados em peneira de 0,074 mm de abertura e caracterizados quanto à composição mineral dominante por

difratometria de raios-X. A caracterização litoquímica total foi realizada por Fluorescência de raios-X para os elementos principais e por ICP-EOS após abertura total triácida para os demais elementos (EPA 3052; Tabela 4).

Tabela 4. Caracterização química do pó de gnaiss localizado em São João do Manhuaçu (MG).

Macroelementos (%)							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO
56	17,4	8,84	4,99	2,54	3,74	0,58	0,14
Microelementos (mg kg <sup>-1</sup> )							
Li	Co	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	Pb
12,0	13,0	15,0	85,0	<3	<3	11,0	9,0

Os metais pesados presentes no pó de gnaiss (Tabela 4) estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação de fertilizantes orgânicos, estabelecida pela IN 27 /2006 (BRASIL, 2006), como legislação referente aos limites estabelecidos para remineralizadores, na IN 5/2016 (BRASIL, 2016).

## 2.3 Desenho experimental

O estudo foi considerado como um modelo *nested* simples (fatorial aninhado misto) 3x4 com 4 repetições. Os dois fatores preditores principais foram as três propriedades da agricultura familiares e os quatro tipos de manejo, sendo lavouras de café em SAF ou a PS, sendo com o uso (+) ou não uso (-) de pós de rochas. Os tratamentos foram definidos então como: SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>, SAF<sub>GA</sub><sup>-</sup>, PS<sub>GA</sub><sup>+</sup>, PS<sub>GA</sub><sup>-</sup>; SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>, SAF<sub>LA</sub><sup>-</sup>, PS<sub>LA</sub><sup>+</sup>, PS<sub>LA</sub><sup>-</sup>; SAF<sub>GL</sub><sup>+</sup>, SAF<sub>GL</sub><sup>-</sup>, PS<sub>GL</sub><sup>+</sup>, PS<sub>GL</sub><sup>-</sup>.

Em cada lavoura, a pleno sol ou em SAF, quatro parcelas homogêneas de 7 x 9 m contendo 30 plantas (3 fileiras com 10 plantas cada) foram definidas. Apenas o solo ou o café das seis plantas da fileira central de cada parcela foram amostradas. Nos tratamentos com uso de pó de rocha, cada planta recebeu 2 kg de pó de gnaiss. O pó de gnaiss foi aplicado, em janeiro de 2019, na projeção da copa das plantas de café, igualmente distribuído ao redor de cada planta de café, sem incorporação. Nenhuma adubação adicional foi realizada.

## 2.4 Análise da qualidade do solo

Após dois anos da aplicação do pó de gnaïsse os solos foram analisados. Em cada parcela, 12 amostras simples, na profundidade de 0 a 20 cm, foram retiradas com trado holandês próximas à projeção da copa das plantas de café e formaram uma amostra composta. Cada amostra composta foi homogeneizada e separada em duas porções, uma foi tamisada (2 mm), seca ao ar e submetida às análises de química e a outra foi armazenada em geladeira para análises microbiológicas. Os teores disponíveis de P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, Ni, Cd, Cr e Pb foram determinados segundo Silva, (2009).

Para análise de umidade foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 40 cm, e em seguida as amostras foram pesadas em balança de precisão e secas por 48 horas em estufa a 105°C em laboratório.

A respiração microbiana do solo foi determinada conforme metodologia adaptada de Mendonça e Matos (2005) pelo método de incubação, durante 21 dias. A quantidade total de CO<sub>2</sub> produzida foi calculado a partir da soma dos valores obtidos em cada amostragem. O cálculo de CO<sub>2</sub> (mg C g<sup>-1</sup> solo) foi realizada usando a fórmula:

$$\text{CO}_2 = (B - V) \times M \times (V_1 / V_2), \text{ onde:}$$

B = volume (ml) gasto na titulação da prova em branco;

V = volume (ml) de ácido gasto na titulação de cada amostra;

M = concentração molar do ácido utilizado na titulação, igual a 6;

V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> = razão entre o volume de NaOH usado na captura do CO<sub>2</sub> em relação ao volume usado na titulação, no caso 1/3.

O carbono da biomassa microbiana (C<sub>mic</sub>) foi determinada conforme Mendonça e Matos (2005), pelo método da irradiação-extração, onde o C<sub>mic</sub> foi calculado a partir da diferença dos teores de C das amostras irradiadas e não irradiadas, utilizando-se a fórmula:

$$\text{C}_{\text{mic}} = (C_i - C_{\text{NI}}) / K_c = \text{mg kg}^{-1} \text{ de C no solo, em que:}$$

C<sub>mic</sub> = Carbono da biomassa microbiana;

C<sub>i</sub> = Carbono na amostra irradiada;

C<sub>NI</sub> = Carbono na amostra não-irradiada;

K<sub>c</sub> = 0,33 – fator de correção referente à fração de C extraído pelo K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

A atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase foi avaliada utilizando-se a determinação colorimétrica do p-nitrofenol após incubação do solo com p-nitrofenol- $\beta$ -D-glicopiranosideo (TABATABAI, 1994).

## 2.5 Avaliações da qualidade do café

A qualidade do café foi avaliada através de análises químicas e físicas dos grãos e através da análise sensorial da bebida. A colheita foi realizada em maio de 2021, com derrça dos frutos em pano de propileno. A colheita foi iniciada quando a estimativa da porcentagem de grãos verdes foi menor que 10%. Os frutos foram secos ao sol em terreiro suspenso até a umidade de 11% dos grãos e descascados.

Para os indicadores físico-químicos de qualidade foram realizadas análises de condutividade elétrica, densidade aparente, pH e acidez total titulável. A condutividade elétrica das amostras foi avaliada utilizando-se extrato dos grãos crus em condutímetro portátil de acordo com a metodologia descrita em Borém et al. (2008). A densidade aparente foi medida calculando-se a razão entre massa/volume, utilizando-se uma proveta de 1 L, onde os grãos foram pesados em balança de precisão (CLARKE; MACRAE, 1987).

O pH foi medido em pHmetro à temperatura ambiente, utilizando-se um extrato em água dos grãos torrados, conforme IAL (2008). Para determinação da acidez total titulável, o mesmo extrato utilizado na análise de pH, foi titulado com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> em 100g de café, com auxílio de um pHmetro. (IAL, 2008; LIMA FILHO et al., 2013).

Para análise sensorial (prova de xícara), os grãos beneficiados foram submetidos à avaliação realizada por dois julgadores e classificadores por dois profissionais (*Q-grader*) contratados. Cada um deu duas notas (*Q-grader* 1 e *Q-grader* 2). A média dos dois *Q-grader* foi considerada a nota do café. Os profissionais também fizeram uma descrição sensorial do café. O preparo da bebida e a classificação sensorial foram realizados seguindo as recomendações da Specialty Coffee Association of America (SCAA, 2009).

## 2.6 Análise dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, conforme modelo estatístico previamente definido pelo plano amostral, sendo ele o modelo hierárquico

misto, com as três áreas, consideradas de efeitos fixos, e os quatros tipos de manejos da lavoura de café, considerados de efeitos aleatórios. Os erros foram testados quanto à normalidade e homocedasticidade pelos testes de Jarque-Bera e Bartlett. As médias entre os manejos foram comparadas pelo teste SNK a 5 % de probabilidade de erro  $\alpha$ . As análises foram realizadas com auxílio do software SPEED Stat 2.4 (CARVALHO et al., 2020).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Atributos do solo

##### 3.1.1 Características químicas do solo

Utilizando como referência a Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (RIBEIRO et al., 1999), os solos tanto dos cafezais em SAF quanto a PS, com ou sem pó de rocha, apresentaram boas características químicas (Tabela 5). Pela classificação agrônômica, o pH foi considerado alto (entre 6 e 7) em todos os tratamentos. Os teores de matéria orgânica foram classificados como médios ou bons. O SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup> apresentou o maior teor de matéria orgânica (6,55 dag kg<sup>-1</sup>). A SB foi classificada como bom ou muito bom em todos os tratamentos, mas SAF<sup>+</sup> (GA e LA) apresentaram as maiores SB ( $p < 0,05$ ). Teores de Al<sup>+3</sup> não foram detectados em nenhum tratamento e o teor de Al+H foi classificado como baixo, e não diferiu entre os tratamentos. A CTC potencial classificada como bom em todos os tratamentos, foi maior ( $p < 0,05$ ) nos sistemas de SAF<sup>+</sup> (GA e LA).

Tabela 5. Características químicas do solo após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaisse nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica (GA, LA, GL).

		GA	LA	GL
<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>	<b>SAF<sup>+</sup></b>	6,82 a	6,94 a	6,88 a
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	6,31 a	6,67 ab	6,62 a
<b>CV 6,4 %</b>	<b>PS<sup>+</sup></b>	6,1 a	6,62 ab	6,82 a
	<b>PS<sup>-</sup></b>	6,78 a	6,12 b	6,92 a
<b>MO (dag kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>SAF<sup>+</sup></b>	6,55 a	3,65 a	5,71 a
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	3,75 b	4,86 a	5,28 a

<b>CV 30,7 %</b>	<b>PS<sup>+</sup></b>	2,55 b	4,27 a	5,19 a
	<b>PS<sup>-</sup></b>	3,85 b	5,22 a	5,25 a
<b>SB</b> ( <b>cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></b> )	<b>SAF<sup>+</sup></b>	10,31 a	12,11 a	8,89 a
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	7,1 b	8,15 b	7,91 a
<b>CV 21,9 %</b>	<b>PS<sup>+</sup></b>	5,73 b	6,94 b	8,4 a
	<b>PS<sup>-</sup></b>	7,4 b	5,54 b	9,29 a
<b>(Al+H)</b> ( <b>cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></b> )	<b>SAF<sup>+</sup></b>	1,33 a	1,05 a	1,45 a
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	2 a	1,68 a	2,2 a
<b>CV 47,6</b>	<b>PS<sup>+</sup></b>	2,28 a	1,95 a	1,45 a
	<b>PS<sup>-</sup></b>	1,58 a	2,43 a	1,43 a
<b>CTC</b> <b>potencial</b> ( <b>cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup></b> )	<b>SAF<sup>+</sup></b>	11,63 a	13,16 a	10,34 a
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	9,1 ab	9,83 b	10,11 a
<b>CV 15,8 %</b>	<b>PS<sup>+</sup></b>	8,01 b	8,89 b	9,85 a
	<b>PS<sup>-</sup></b>	8,98 ab	7,97 b	10,72 a

Médias seguidas por uma mesma letra, entre manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ). CV: coeficiente de variação.

Em relação aos nutrientes, a resposta à aplicação do pó de rocha variou ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas (Figura 2). Os solos dos SAFs apresentaram as maiores alterações nutricionais com a adição dos pós de rochas. As disponibilidades de P e K no solo, em geral, aumentaram com a adição do pó de gnaiss em sistema agroflorestal ( $p < 0,05$ ), exceto na propriedade GL. O P aumentou ( $p < 0,05$ ) 110 % (SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>) e 171 % (SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>) em relação aos SAFs sem pó de rocha. Em relação ao PS, com ou sem pó de rocha, este aumento foi de pelo menos 199 % (PS<sub>GA</sub><sup>+</sup>) e 30 % (PS<sub>LA</sub><sup>+</sup>). Entretanto, os valores de P estão muito altos e podem estar apresentando alguma anomalia, que pode estar relacionada a amostragem de algum sitio mais enriquecido com a adubação fosfatada. O K aumentou em SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>, pelo menos 40 % em relação aos demais tratamentos (Figura 2).

Os teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> foram maiores em SAF<sup>+</sup> ( $p < 0,05$ ). Os teores de cálcio foram pelo menos 67,1 % (SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>) e 89,3 % (SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>) e SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>, em relação aos demais tratamentos. Os teores de Mg<sup>2+</sup> foram pelo menos 103,3 % (SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>) e 59,4 % (SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>) em relação aos demais tratamentos (Figura 2). Os teores de macronutrientes em PS<sup>+</sup> e PS<sup>-</sup> não diferiram entre si ( $p > 0,05$ ), exceto em PS<sub>GA</sub> (Mg<sup>+</sup>).

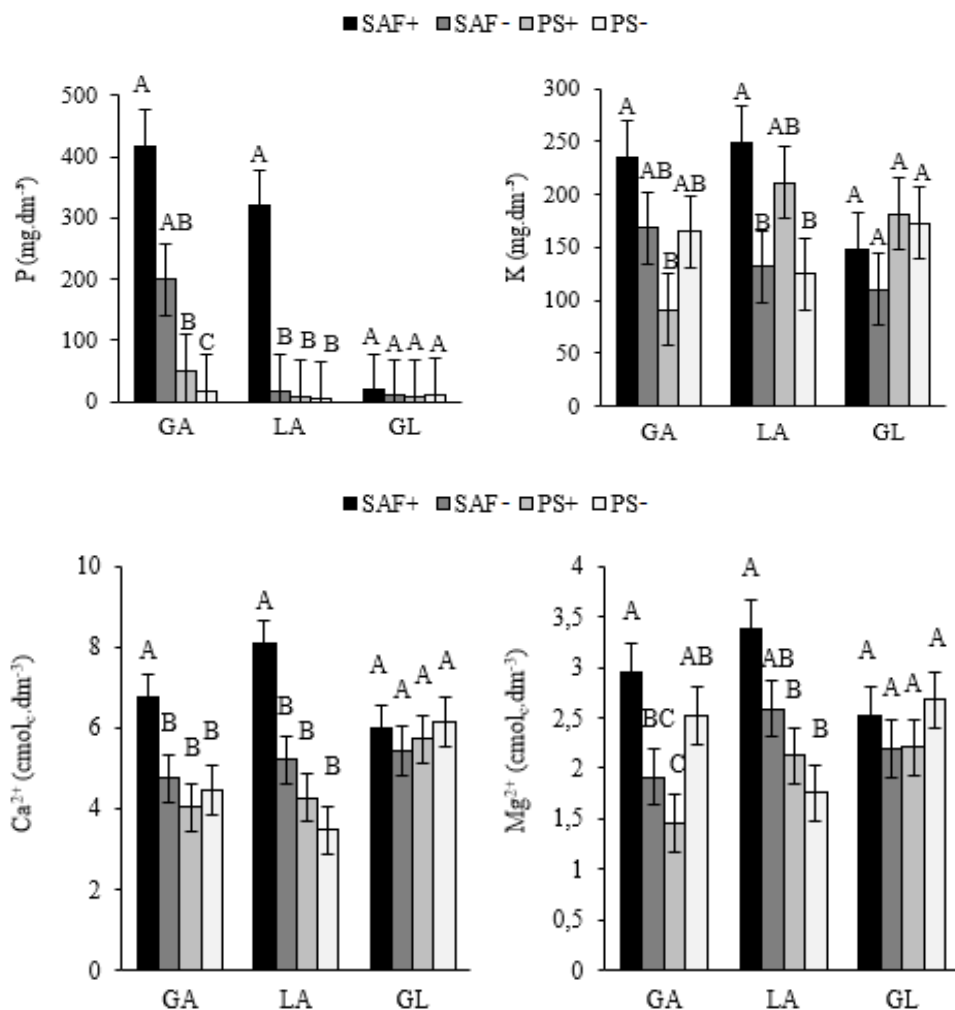


Figura 2. Disponibilidade de macronutrientes no solo após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaisse nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica identificadas pelas letras iniciais dos proprietários (GA, LA, GL) em Divino, Minas Gerais. Médias seguidas por uma mesma letra, entre sistemas de manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

As disponibilidades dos micronutrientes Cu e Ni no solo alteraram com os tratamentos (Figura 3). Em geral, o efeito da rochagem sobre a disponibilidade micronutrientes foi maior ( $p < 0,05$ ) nos SAFs<sup>+</sup> do que nos demais tratamentos (Figura 3). Os teores de Cu foram pelo menos 74,4 % (SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>) e 234,2 % (SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>) maiores em relação aos demais tratamentos e os tores de Ni foram pelo menos 288,1 % (SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>) e 147,6 % (SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>) maiores em relação aos demais tratamentos (Figura 3). Os teores de Zn diferiram ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e, em relação a SAF<sub>LG</sub>, foram maiores 34,8% (SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>) e 227,9% (SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>).

Os teores de Cd, Cr e Pb praticamente não alteraram com a aplicação do pó de gnaiss. Houve diferença (Cr) entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ) apenas em uma propriedade (LA, Figura 3). Entretanto, todos os teores ficaram abaixo dos limites estabelecido pelos valores de referência de qualidade dos solos para Minas Gerais (COPAM, 2011).

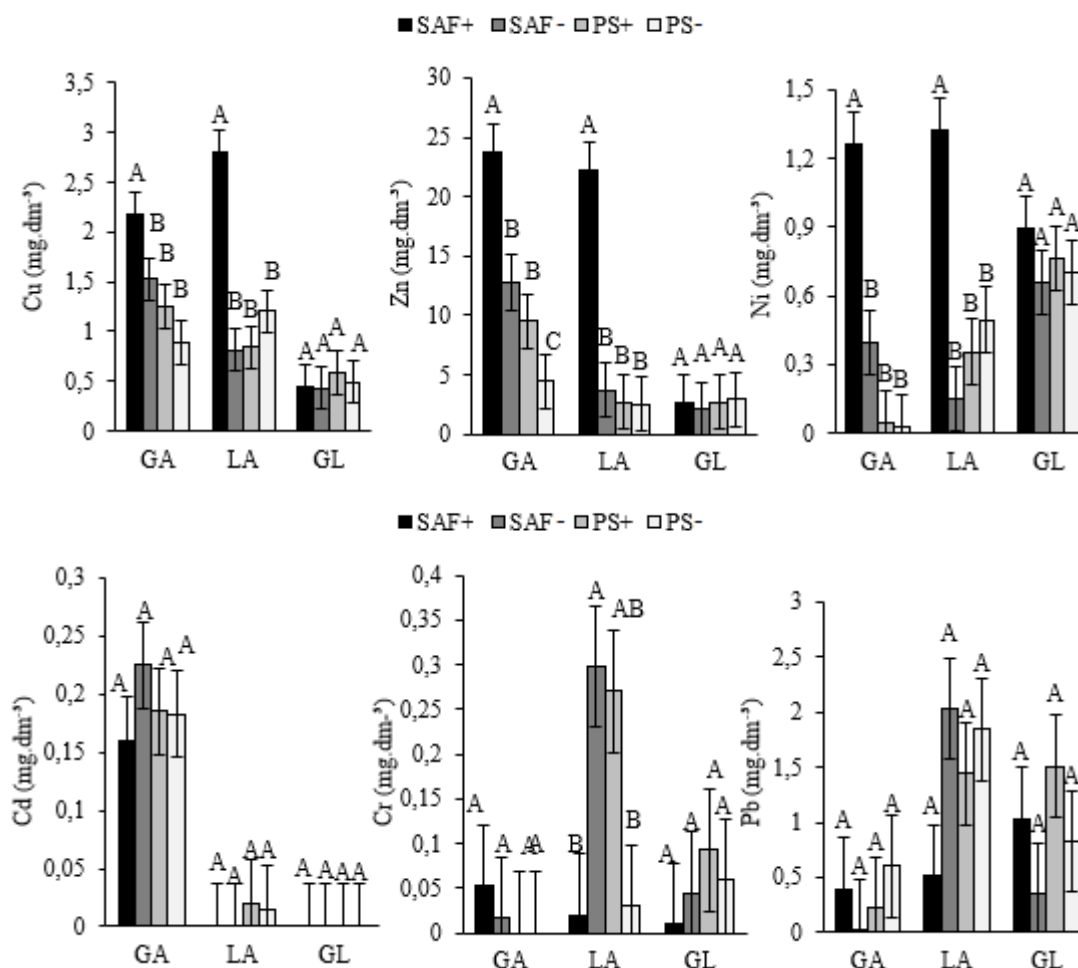


Figura 3. Teores de micronutrientes e metais pesados no solo após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaiss nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica identificadas pelas letras iniciais dos proprietários (GA, LA, GL) em Divino, Minas Gerais. Médias seguidas por uma mesma letra, entre sistemas de manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

### 3.1.2. Alterações físicas do solo

A umidade do solo diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos em todas as propriedades (Figura 4). A umidade nos SAFs foi maior do que PS, com ou sem pós



de rocha. Em LA, a umidade em SAF<sup>+</sup> foi maior que SAF<sup>-</sup>. A umidade em PS<sup>+</sup> foi maior que em PS<sup>-</sup> em duas propriedades (GA e GL) indicando influência do pó de gnaïsse na manutenção da umidade no sistema.

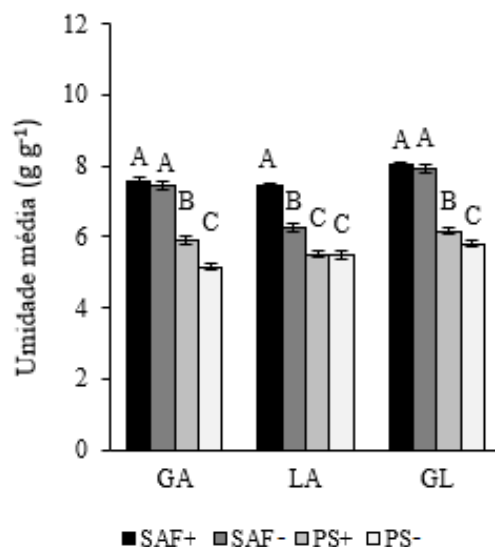


Figura 4. Umidade média (g g<sup>-1</sup>) das amostras do solo após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaïsse nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica identificadas pelas letras iniciais dos proprietários (GA, LA, GL) em Divino, Minas Gerais. Médias seguidas por uma mesma letra, entre sistemas de manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

### 3.1.3. Alterações microbiológicas do solo

Houve alterações ( $p < 0,05$ ) microbiológicas no solo de acordo com os tratamentos (Tabela 4). Em relação ao PS, a liberação de CO<sub>2</sub> pela respiração microbiana do solo foi maior nos SAFs, com ou sem aplicação de pó de gnaïsse. O carbono da biomassa microbiana não diferiu entre os tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Liberação de CO<sub>2</sub> pela respiração microbiana em solos em áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) de pó de gnaïsse, em três propriedades da agricultura familiar agroecológica (GA, LA, GL).

		GA	LA	GL
Respiração microbiana	SAF <sup>+</sup>	8,27 a	7,68 a	7,44 a

(mg kg <sup>-1</sup> de solo)	SAF <sup>-</sup>	8,11 a	7,85 a	7,74 a
CV 10,0 %	PS <sup>+</sup>	4,49 b	5,18 b	4,28 b
	PS <sup>-</sup>	4,77 b	5,52 b	4,63 b
Cmic (mg kg <sup>-1</sup> )	SAF <sup>+</sup>	8,48 ab	8,93 a	9,55 a
	SAF <sup>-</sup>	9,05 a	9,11 a	10,39 a
CV 46,2 %	PS <sup>+</sup>	6,55 b	9,98 a	10,07 a
	PS <sup>-</sup>	8,2 ab	9,27 a	8,9 a

Médias seguidas por uma mesma letra, entre manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).  
CV: coeficiente de variação.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos (Figura 5), exceto em SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>. Em relação aos demais tratamentos, a  $\beta$ -glicosidase foi maior ( $p < 0,05$ ) 34,6% em SAF<sub>GA</sub><sup>+</sup>.

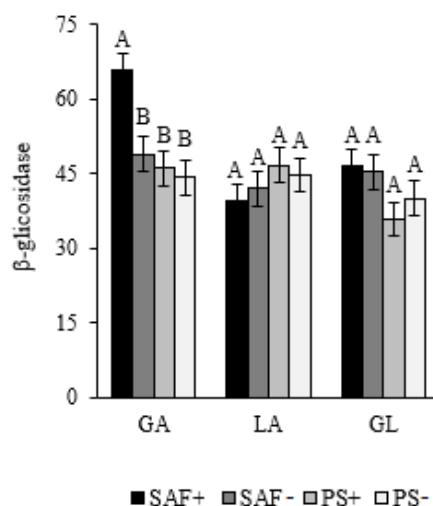


Figura 5. Alterações da  $\beta$ -glicosidase ( $\rho$ -nitrofenol kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) n no solo após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaiss nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica identificadas pelas letras iniciais dos proprietários (GA, LA, GL) em Divino, Minas Gerais. Médias seguidas por uma mesma letra, entre sistemas de manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

### 3.4 Avaliações de atributos do café

Os atributos de qualidade do café avaliados variaram ( $p < 0,05$ ) de acordo com os tratamentos aplicados. A condutividade elétrica dos exsudados dos grãos de café, em PS foi maior ( $p < 0,05$ ) do que em SAFs, sendo maior em 50,3 % (PS<sub>GA</sub>), 51,1 %

(PS<sub>LA</sub>) e 46,7 % (PS<sub>GL</sub>), indicando que os sistemas agroflorestais influenciaram a qualidade do café. Entretanto, apenas em uma propriedade (GL) a aplicação do pó de gnaïsse influenciou, pois, a condutividade elétrica do café em SAF<sup>+</sup> foi menor do que SAF<sup>-</sup> (Figura 6).

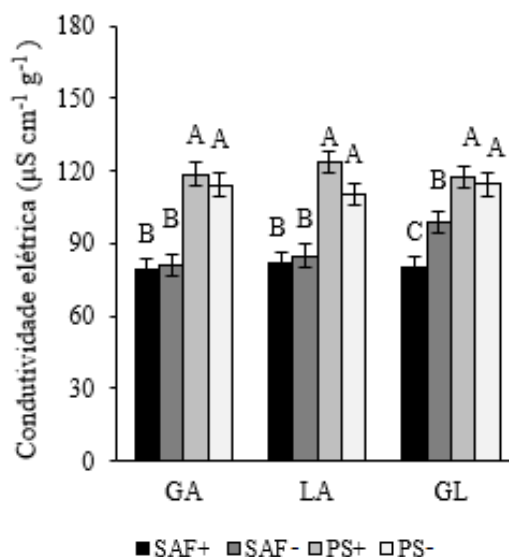


Figura 6. Condutividade elétrica dos exsudados dos grãos de café após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaïsse nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica identificadas pelas letras iniciais dos proprietários (GA, LA, GL) em Divino, Minas Gerais. Médias seguidas por uma mesma letra, entre sistemas de manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

A densidade dos grãos diferiu ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. Em relação ao PS, os grãos do café cultivados sob SAFs apresentaram maior densidade nas três propriedades estudadas. Em relação ao PS<sup>+</sup>, as densidades dos grãos de café em SAF<sup>+</sup> foram maiores 38,2% (GA), 19,4% (LA) e 5,3% (GL) (Figura 7).

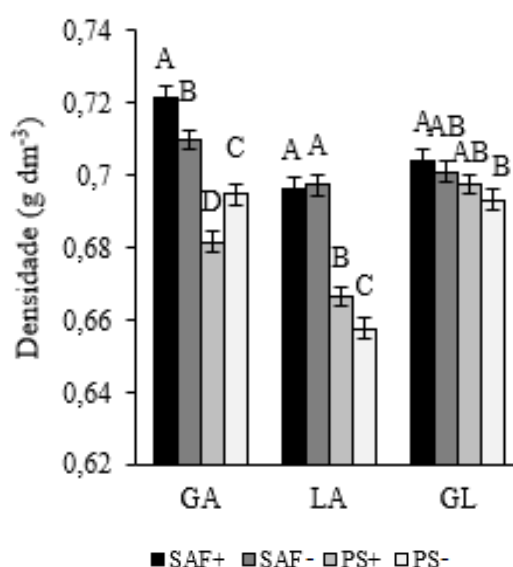


Figura 7. Densidade dos grãos de café após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaiss nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou sob manejo à pleno sol (PS), em três propriedades da agricultura familiar agroecológica identificadas pelas letras iniciais dos proprietários (GA, LA, GL) em Divino, Minas Gerais. Médias seguidas por uma mesma letra, entre sistemas de manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

O pH e a acidez titulável diferiram ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos (Tabela 7), nas propriedades GA e GL. Em GA, o pH dos grãos de café em PS<sup>-</sup> foi em média 2,3% menor do que nos demais tratamentos. Em GL, o pH dos grãos de café em SAF<sup>+</sup> foi em média 7,14% maior do que nos demais tratamentos (Tabela 7), indicando certa influência do pó de gnaiss no pH dos grãos de café. A acidez titulável foi menor em SAF<sub>GA</sub> e maior em SAF<sub>LA</sub><sup>-</sup> e não diferiu entre os outros tratamentos (Tabela 7).

Tabela 7. Resultados de pH dos grãos de café torrado e acidez titulável (ATT ml<sup>-1</sup>) após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaiss nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou a pleno sol (PS) em três propriedades da agricultura familiar agroecológica (GA, LA e GL).

	pH			ATT (ml <sup>-1</sup> )		
	GA	LA	GL	GA	LA	GL
SAF <sup>+</sup>	4,4a	4,4a	4,5a	35,74b	32,25b	31,56a
SAF <sup>-</sup>	4,5a	4,1a	4,0b	31,56b	41,54a	24,61a
PS <sup>+</sup>	4,4a	4,3a	4,2b	40,61a	35,27b	35,50a

<b>PS<sup>-</sup></b>	3,9b	4,3a	4,0b	41,30a	35,04b	32,72a
-----------------------	------	------	------	--------	--------	--------

Médias seguidas por uma mesma letra, entre manejos, não diferem entre si pelo teste SNK ( $p < 0,05$ ).

As notas (Q-grader) e as descrições sensoriais atribuídas ao café durante a roda de sabores expressaram diferenças entre os tratamentos (Tabela 8). O café dos agricultores/as foi em geral muito bem avaliado (notas acima de 80), independente do manejo e da aplicação ou não do pó de rocha, exceto em LA onde apenas o SAF<sup>+</sup> obteve nota acima de 80 e os demais notas em torno de 65.

Tabela 8. Resultados da análise sensorial dos grãos de café após 24 meses da aplicação (+) ou não (-) do pó de gnaissé nas áreas sob manejo agroflorestal (SAF) ou a pleno sol (PS) em três propriedades da agricultura familiar agroecológica (GA, LA e GL).

Propriedade		Média Q-grader	Descrição sensorial encontrada
<b>GA</b>	<b>SAF<sup>+</sup></b>	84,3	Doce, mel, corpo aveludado, acidez málica
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	82,5	Doce, cítrico, equilibrado, caramelo
	<b>PS<sup>+</sup></b>	84,5	Doce, licoroso, cacau, frutado
	<b>PS<sup>-</sup></b>	87,0	Caramelo, aveludado, cítrico, abacaxi
<b>LA</b>	<b>SAF<sup>+</sup></b>	87,3	Melaço, cítrico, damasco, cremoso
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	66,5	Xícaras fenólicas, rio, riado
	<b>PS<sup>+</sup></b>	66,0	Fenólico, riado
	<b>PS<sup>-</sup></b>	65,0	Xícaras fenólicas, rio, riado
<b>GL</b>	<b>SAF<sup>+</sup></b>	86,0	Cremoso, caramelo intenso, pão de mel
	<b>SAF<sup>-</sup></b>	86,0	Frutas vermelhas, mel, cítrico, cremoso
	<b>PS<sup>+</sup></b>	82,8	Caramelo, cítrico, chocolate, cremoso
	<b>PS<sup>-</sup></b>	84,3	Caramelo, cítrico, corpo aveludado

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1 Qualidade do solo

#### 4.1.1 Características químicas de solo

A melhoria da qualidade do solo observada em seus atributos químicos, físicos e biológicos, principalmente nos SAFs<sup>+</sup>, indicam a importância do uso do pó de gnaissé, especialmente quando associado a processos que dinamizam a vida do solo. Nos SAFs, a maior diversificação de estratos e de matérias contribuem com uma maior atividade dos microrganismos no solo, que promovem vários benefícios, dentre eles a maior ciclagem de nutrientes e o maior intemperismo dos minerais presentes nos pós de rochas. Por exemplo, árvores com raízes profundas dos SAFs favorecem a

presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em maiores profundidades do solo e com isto, favorecem a maior ciclagem e disponibilização dos nutrientes (CARDOSO et al., 2003a; CARDOSO et al., 2003b).

Como observado, especialmente em SAFs<sup>+</sup> (Tabela 3), os pós de rochas elevaram o pH do solo, como já observado por outros autores (BONIAO et al., 2002; CARVALHO, 2012; ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998; GILLMAN et al., 2001). Isso se deve, provavelmente ao maior aporte de matéria orgânica, proveniente da decomposição de folhas e galhos aliados à ação conjunta dos microrganismos do solo (NEVES et al., 2007; DUARTE et al., 2013), que pode ter potencializado a liberação dos nutrientes presentes no pó de gnaiss, como P, K, Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup>. Alguns dos nutrientes liberados, ocupam o complexo sortivo do solo, deslocando o Al<sup>+3</sup>, que se precipita e não participa mais de hidrólise ácida que libera H<sup>+</sup> e abaixa o pH. A matéria orgânica pode ainda complexar o alumínio impedindo sua hidrólise ácida (MALAVOLTA, 1984).

Ainda, segundo Carvalho et al. (2018), a hidrólise, uma das principais reações químicas ocorridas durante o intemperismo dos minerais silicatados, utiliza o H<sup>+</sup> livre do solo e resulta em aumento do pH. Assim, a elevação do pH é considerada um indicador da reatividade da rocha e necessariamente acompanhada da liberação dos produtos da reação, que são os cátions básicos e metálicos do mineral, os ânions silicato (H<sub>n</sub>SiO<sub>4</sub><sup>-</sup>) e os minerais secundários “residuais”.

Após dois anos de experimento a matéria orgânica aumentou em todas as propriedades estudadas e sistemas estudados (Tabelas 1 e 3), devido ao manejo agroecológico e orgânico realizado pelos agricultores. Assim como na Zona da Mata (Tabela 1), agricultores orgânicos adubam o café com esterco de gado (MOURA et al., 2014), roçam a vegetação espontânea e nos SAFs há aporte contínuo de matéria orgânica (MAIA et al., 2006), devido à queda de resíduos da parte aérea e decomposição de raízes. O manejo orgânico em SAF proporciona maior cobertura do solo, favorecem a preservação da fauna e da flora, promovem a ciclagem de nutrientes a partir da ação de sistemas radiculares diversos e dos organismos. Entretanto, a qualidade da matéria orgânica entre os sistemas pode ser diferente, com influência na atividade microbiana, e precisa ser estudada em pesquisas futuras.

A maior disponibilização dos macronutrientes, e principalmente nos SAFs<sup>+</sup>, possivelmente se deu em virtude da maior liberação dos elementos presentes em minerais do gnaiss, cujo intemperismo foi acelerado em um sistema com maior

atividade biológica do solo (SOUZA et al., 2018). De acordo com a composição da rocha (Tabelas 2 e 3), possivelmente a maior disponibilização ocorreu devido ao intemperismo da andesina, dos anfibólios e da biotita, visto que são mais susceptíveis ao intemperismo, seguidos do intemperismo do ortoclásio (feldspato – K), um dos principais minerais do gnaiss (FORMOSO, 2006). O intemperismo da apatita, um mineral acessório do gnaiss (MELO, 2009), pode ter contribuído com a disponibilização do P.

Segundo a literatura, a interação de P com Si no solo pode auxiliar na disponibilização do P no solo (OWINO-GERROH; GASCHO, 2004; TAVAKKOLI et al., 2011), pois o Si pode provocar a dessorção de P dos minerais de argila do solo (CARVALHO et al., 2001), porque ele ocupa os mesmos sítios de ligação do P, sendo esse o principal mecanismo de disponibilização de P em solos intemperizados (CARVALHO et al., 2000; POZZA, 2007). A ação microbiana pode também ter contribuído para a disponibilização do P.

Notaro et al. (2014) observaram maiores teores de P nos cafezais em SAFs quando comparados ao cafezal em pleno sol. Segundo Cardoso et al., (2003a), os cafezais em SAFs possuem uma quantidade maior de raízes e esporos de fungos micorrízicos quando comparadas às áreas de café a pleno sol, o que favorece a ciclagem do P. O mesmo não ocorreu nas áreas de PS<sup>+</sup>, em que provavelmente uma menor atividade microbiana, mesmo com teores bons de matéria orgânica, não tenha favorecido o intemperismo dos minerais e a liberação dos nutrientes.

O K (com maior teor de K em SAF<sup>+</sup> GA, LA, Figura 2) é um importante nutriente para o cultivo do café e, segundo Nigussie e Kissi (2012), foi maior em cafezais em SAFs, em relação a cafezais produzidos a pleno sol. Segundo esses autores, em sistemas biodiversos, com solos mais estruturados e maiores teores de matéria orgânica, há menores perdas de K<sup>+</sup> por lixiviação. Em nosso estudo, as condições propiciadas pelos SAFs, facilita ainda a disponibilização do K presentes nos minerais que contém potássio a exemplo das micas e feldspatos, presente no gnaiss.

Para além da nutrição de plantas, os maiores teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> presentes em SAF<sup>+</sup> (GA, LA, Figura 2) podem colaborar para o sequestro do CO<sub>2</sub> atmosférico. Segundo Beerling et al. (2018), o aumento do intemperismo acelera as reações do CO<sub>2</sub> com os minerais contidos em minerais, ricos em Ca<sup>2+</sup> e ou Mg<sup>2+</sup>, através de um processo que naturalmente modera o CO<sub>2</sub> atmosférico e estabiliza o clima em escalas geológicas de tempo.

Os maiores teores de Cu, Zn e Ni, especialmente nos SAF<sup>+</sup> (GA, LA, Figura 3), devem estar associados ao intemperismo dos minerais dos pós de rocha. No caso do Cu, os teores estão associados à presença do anfibólio, minerais de baixa resistência intempérica, segundo Melo et al. (2009). Além disso, os teores de Cu em GA e LA eram superiores desde o início do experimento, e, tiveram incrementos nessas propriedades, fato não esperado devido ao pH acima de 6,0 e teores adequados de matéria orgânica no solo.

Os incrementos nos teores de Zn (Tabela 2) podem provir alguns minerais acessórios do gnaiss, a exemplo da turmalina, ou da presença de hidroxiapatitas, uma vez que o Zn<sup>2+</sup> pode substituir o Ca<sup>2+</sup> na estrutura dos fosfatos (MIYAJI et al., 2005; REN et al., 2009). A maior diversidade da microbiota nos SAFs pode ter auxiliado na disponibilização do Zn, pois a maior demanda por P da microbiota do solo, que pode ter aumentado o intemperismo das apatitas, o que resultou na maior liberação do Zn advindo desses minerais (CARVALHO, 2012). Carvalho (2012) também detectou aumento dos teores de Zn em sistemas biodiversos, com consórcio de feijão com plantas espontâneas utilizadas como adubação verde, utilizadas para biodisponibilizar nutrientes do pó de gnaiss, apontando também que maior diversidade de plantas pode auxiliar na disponibilização de Zn do pó de gnaiss.

Embora considerados como micronutrientes, Cu, Zn e Ni podem também ser analisados como metais no solo. Entretanto, seus teores, assim como os de Cd, Cr e Pb (Figura 3), estão abaixo dos limites estabelecidos pelos valores de referência de qualidade dos solos para Minas Gerais (COPAM, 2011).

Segundo Kabata-Pendias e Pendias, (2001), embora seja conhecido por sua ocorrência como Cd<sup>2+</sup>, esse elemento pode também formar vários íons complexos [CdCl<sup>+</sup>, CdOH<sup>+</sup>, Cd (OH)<sub>3</sub>] e quelatos orgânicos. Os fatores mais importantes que controlam a mobilidade de íons Cd no solo são pH e potencial de oxidação. Em condições de pH ácido, ele possui sua mobilidade elevada. Quando fortemente oxidado tende a formar minerais (CdO, CdCO<sub>3</sub>) e ser acumulado em fosfatos. Os oxidróxidos de Fe, Al e Mn, os minerais argilosos e a matéria orgânica são os principais adsorventes de Cd no solo (ALLOWAY, 2013). Tal fato corrobora com os dados obtidos, onde os teores de Cd foram baixos em todos os solos e todos eles possuem pH acima de 6 e teores médios ou bons de matéria orgânica (Tabela 3).

Os teores de Cr em PS<sup>+</sup>LA e SAF<sup>-</sup>LA parecem anômalos, mas estão dentro dos valores de referência de qualidade dos solos para Minas Gerais, da Deliberação



Normativa do COPAM (COPAM, 2011). Apesar de o gnaissse apresentar baixos teores de Cr (Tabela 4 deste capítulo e Tabela 5, capítulo 2), atualmente está sendo discutido os limites permitidos de Cr hexavalente, e essa mudança certamente causará impactos nas normas de remineralizadores brasileira (IN 5/2016), podendo restringir o uso desses materiais. O Ministério da Agricultura e Agropecuária (MAPA, 2021) autoriza o uso dos pós de rocha (Anexo 5, portaria 52/ março, 2021) como fertilizante na agricultura orgânica, desde que respeitado os limites máximos de contaminantes estabelecidos. Segundo esta portaria (Anexo 6), o Cr hexavalente presente nos pós de rochas deve ser de  $0,0 \text{ mg kg}^{-1}$  de matéria seca.

Porém, sabe-se que o Cr e outros metais são encontrados naturalmente em menor escala em gnaisses, granitos, arenitos, e em maior escala em rochas básicas (FADIGAS et al., 2002).

O Cr trivalente apresenta menor mobilidade, baixa toxicidade e é mais estável (MARQUES, 2015). Entretanto, o Cr hexavalente, considerado cancerígeno, pode causar problemas de saúde para todos os seres. No solo, ele é muito móvel e pode atingir e contaminar o lençol freático (SOUZA, 2014;). O Cr hexavalente, comum em ambientes oxidantes, pode ser reduzido ao seu estado trivalente, comum em ambientes mais redutores. Assim, ao ser reduzido, o Cr assumirá uma forma estável diminuindo potencialmente os riscos de causar danos ao ambiente. Diversas pesquisas apontam técnicas de manejo que reduzem do Cr hexavalente. Dentre estas, o uso de vermicompostagem (STEVENS, 2014) e a incorporação de matéria orgânica no solo (CASTILHOS et al., 1999). Estas são técnicas naturais de reduzir o Cr já são incorporadas pelos agricultores agroecológicos. Por isso, pesquisas mais aprofundadas sobre a disponibilização do Cr hexavalente advindo de pós de rochas são necessárias, para que não limite a utilização desses materiais na agricultura orgânica.

Segundo Linhares et al. (2009), o Pb possui uma dinâmica semelhante ao Cd nos processos de imobilização e disponibilização no solo, onde os principais ligantes do Cd são também ligantes do Pb. Nos solos tropicais, os óxidos de Fe e Al geralmente apresentam uma retenção por meio da quimiossorção (LINHARES et al., 2009), que representa uma adsorção altamente específica e de forte energia, resultando na formação de complexos de esfera interna (NOVAIS; MELO, 2007). Essas ligações tornam o elemento pouco móvel nos solos (diferente do Cd), uma vez que são menos reversíveis que as ligações de troca iônica (SILVA; VITTI, 2008).

Entretanto, no que se refere aos metais pesados, é preciso considerar que adicionar pós de rochas locais que correspondem ao próprio material de origem do solo pode representar adicionar mais do mesmo. Por exemplo, os solos da região da Zona da Mata são originários de gnaiss e ao utilizar pós de gnaiss oriundo da própria região para os cultivos espera-se não alterar muito o teor destes metais no solo.

Quanto ao efeito dos pós de rochas nos solos, o efeito da aplicação do pó de rocha parece ser maior em solos já mais intemperizados e lixiviados como os Latossolos (Propriedade LA) e Argissolos (propriedade GA) e menor solos mais jovens, como Cambissolos (Propriedade GL).

Por fim, os pós de gnaiss, apesar do potencial demonstrado, não são considerados remineralizadores pela IN 5/2016, pois os teores sílica livre estão acima do que é exigido pela legislação (superior a 25% de SiO<sub>2</sub>). Portanto, estudos relacionados aos materiais que não são reconhecidos como remineralizadores pela legislação precisam ser aprofundados, pois em alguns casos, eles podem ser utilizados como fontes de nutrientes, especialmente se for associado a técnicas de manejo que potencializam a vida no solo. O uso destes materiais pode contribuir muito com a autonomia dos agricultores familiares e com a sustentabilidade geral dos agroecossistemas.

#### **4.1.2 Alterações microbiológicas no solo**

A maior diversidade de plantas (Tabela 2) nos SAFs possivelmente favoreceu a maior atividade microbiológica dos solos, indicadas pela maior respiração microbiana (Tabela 6) e alterações da  $\beta$ -glicosidase (Figura 4). Os organismos dos solos são os responsáveis pela ciclagem de nutriente e com isto eles contribuem para a nutrição de plantas e, por sua vez, eles se nutrem pelos resíduos produzidos pelas plantas. A maior diversidade de plantas nos SAFs significa maior produção de alimentos (exsudados radiculares, resíduos de folhas, etc) para os organismos que, em um processo cíclico, mantém a vida, e, portanto, a qualidade do solo (DUARTE et al., 2013; MENEZES et al., 2008).

A liberação dos nutrientes presentes no pó de gnaiss, por sua vez, favorece o crescimento das plantas do SAF, que produz resíduos orgânicos que ampliam o

crescimento da população microbiana do solo pela decomposição desse material (CHANDER et al., 1998; SOUZA et al., 2012). Segundo Carvalho (2012), a biodisponibilização dos nutrientes de pós de gnaíse, charnockito e esteatito foi influenciada por fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

Além dos mecanismos baseados na liberação de ácidos orgânicos e na desprotonação, o CO<sub>2</sub> liberado durante a respiração fúngica aumenta a degradação de silicatos por meio do ataque dos ácidos orgânicos. Por exemplo, os microrganismos do solo são importantes mediadores da mineralização e imobilização de P (WANG et al., 2017). Nos SAFs<sup>+</sup>, que possuem maior atividade biológica, a disponibilização de P foi maior, especialmente quando o pó de gnaíse foi adicionado, reafirmando a ação dos microrganismos no biointemperismo dos pós de rocha (SATTER et al., 2006; QUIRK, et al., 2012; SILVA, 2017).

As áreas de PS, em monocultura, com menor diversidade de plantas apresentaram menor atividade de microrganismos, indicada pela respiração microbiana (Tabela 6). Isto pode estar levando a diminuição da qualidade de solo ao longo do tempo, mesmo que atualmente atinja boas produções (NUNES et al., 2009).

Alguns autores sugerem que a beta-glicosidase é uma das enzimas mais sensíveis na detecção de mudanças geradas pelo tipo de manejo realizado no solo (BANDICK; DICK 1999; NDIAYE et al., 2000; KNIGHT; DICK, 2004). Maiores teores da enzima  $\beta$ -glicosidase em SAF<sup>GA</sup> indicam o manejo neste sistema, em relação aos outros da propriedade GA e demais, está provocando mudanças mais sensíveis no solo. Este é o sistema mais biodiverso, tanto no componente arbóreo, quanto herbáceo e arbustivo, e com maior presença de espécies leguminosas, incluindo labe-labe, que ocupa a maior parte do estrato herbáceo. A  $\beta$ -glicosidase é uma enzima do solo digestiva para a mineralização da celobiose. Ela catalisa a hidrólise enzimática de vários polissacáridos e  $\beta$ -glucósidos (JIMENEZ et al., 2007). Por conseguinte, é visto como um indicador de rotação de compostos orgânicos do solo a partir de culturas resíduos e esterco, considerada como força motriz na decomposição dos carboidratos nos solos. Os produtos de hidrólise enzimática (açúcares) são energia importante fontes de microrganismos nos solos (EIVAZI; TABATABAI, 1988; MARX et al., 2005).

A maior taxa de  $\beta$ -glicosidase na área de manejo mais antigo em SAF (SAF<sup>GA</sup>), assim como encontrado por Vallejo et al. (2010), pode ser atribuído a maior deposição de serrapilheira (com maiores teores de carbono) ao longo do tempo.

### **4.1.3 Alterações físicas do solo**

O microclima e as condições do solo nos SAF contribuíram para a manutenção da umidade do solo nas áreas de SAF (Tabela 4), quando comparadas às áreas de PS, devido a menor perda por evaporação e menor escoamento superficial, pois a proteção proporcionada pela cobertura das árvores reduz a incidência de radiação solar direta e a emissão de radiação indireta do ar que chega ao solo (CARVALHO et al., 2021). Além disso, a diminuição do escoamento superficial, aumenta da infiltração da água infiltrada (FRANCO, et al., 2002, diminui o stress hídrico nos SAFs (YOUNG, 1998; NARAIN et al., 2000) e mantem ou aumenta a oferta de água para as plantas de café, inclusive no período seco (FRANCO, et al., 2002). Entretanto, as espécies arbóreas a serem consorciadas nos SAFs precisam ser bem selecionadas para que não haja competição das árvores com o café pela água (SOUZA et al., 2010; CARVALHO et al., 2021).

No curto prazo, o pó de gnaiss pode contribuir com efeitos indiretos nos parâmetros físicos do solo, propiciando melhores condições para o desenvolvimento das plantas e com isto contribuir para características físicas do solo favoráveis à infiltração, como agregação e porosidade (CAMPOS et al., 1995; SILVA; RESCK, 1997), o que leva a melhoria da umidade do solo e a menor resistência à penetração das raízes, como observado em SAF<sup>+GA</sup>, área com maior biodiversidade de plantas dentre as áreas estudadas. Theodoro et al. (2021) também observaram maior capacidade de retenção de água nos solos cultivados sob sistemas agroflorestais adubados com remineralizadores, em uma área anteriormente degradada.

## **4.2 Avaliações da qualidade do café**

### **4.2.1 Condutividade elétrica, pH e acidez total titulável**

Segundo Márquez et al. (2020), cafés cultivados sob SAFs produzem uma porcentagem menor de defeitos nos grãos de café cru e, com isto, menores valores de condutividade elétrica e maior qualidade da bebida do café (ROMERO et al., 2003). Portanto, a menor condutividade elétrica (Figura 5) indicou melhor qualidade dos cafés cultivados sob SAFs, com ou sem pós de rocha. Para Toledo et al. (2012) e Bote et

al. (2017), cafezais sombreados pelas árvores em SAFs promovem não apenas maior sustentabilidade no cultivo, mas neles também é possível produzir cafés de maior qualidade de bebida, quando comparados às áreas de cultivo convencional a pleno sol.

Rezende et al. (2014; 2021) demonstraram que a presença de árvores no cafeeiro, como o Ingá (*Inga edulis*), promoveu o controle biológico de pragas e doenças, como o bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*) e broca do café (*Hypothenemus hampei*). A broca é um dos principais causadores de defeitos nos grãos de café cru, com perda de sua qualidade (REZENDE et al., 2021). O tratamento SAF<sup>+GL</sup> apresentou a menor condutividade elétrica, o que pode estar indicando relação indireta do pó de gnaïsse com a qualidade do café, já que a maior oferta de nutrientes para as plantas melhora a qualidade dos frutos, inclusive por torna-las mais resistentes ao ataque de pragas, como a broca (REZENDE et al., 2021).

Mesmo maiores que em SAFs, a condutividade elétrica nos grãos de café cultivados a PS (Figura 6) foram menores que aquelas encontradas por Malta et al. (2005) para café arábica. O manejo agroecológico dos cafés a PS deve estar contribuindo também para o controle biológico e para melhorar a qualidade da bebida do café.

A condutividade elétrica é reflexo também da densidade do café (CARVALHO et al., 2001). Além de menor condutividade elétrica, os SAFs também produzem grãos de café mais densos (REZENDE, et al., 2021), como obtido em nosso estudo, especialmente quando fertilizados com pó de gnaïsse (Figura 7), a exemplo de SAF<sup>+(GA, GL)</sup> e PS<sup>+LA</sup>. Frutos mais densos podem produzir bebidas de melhor qualidade, pois, em geral, são frutos com menor porcentagem de defeitos e maior integridade física dos grãos café, (CARVALHO et al., 2001). Silva et al. (1999) afirmam que a presença de K no solo é imprescindível para a produção de café de maior qualidade, mas é preciso relacionar os teores de K com aos de N (nitrogênio) para formação e integridade física dos grãos, composição química e qualidade final da bebida (CLEMENTE et al., 2015b).

Os baixos teores de pH do café, independente do manejo, (variação de 3,9 a 4,5; Tabela 7) não afetaram o resultado sensorial das bebidas (Tabela 8), diferentemente do que é apresentado na literatura. Segundo Sivetz e Desrosier (1979) para a produção de cafés com bebidas de qualidade os valores de pH devem estar entre 5,31

a 5,61. Contudo, alguns pesquisadores sugerem que a acidez total é que apresenta melhor correlação para determinar a acidez do café (VOILLEY et al., 2007).

Os teores de acidez titulável estiveram dentro do padrão encontrado por outros autores em relação ao café arábica cultivadas em outras regiões acima de 750 m de altitude, mas em sistema convencional de cultivo. Segundo SIQUEIRA; ABREU (2006) acidez variando de 24,61 a 41,54 (como encontrada, Tabela 7) não indica perda da qualidade da bebida do café. Na literatura são encontrados uma ampla faixa de valores de acidez (de 10,95 a 40,04 mL NaOH 100 g<sup>-1</sup>) para cafés com bebida de qualidade cultivados em sistema convencional (SILVA et al., 2016; CLEMENTE et al., 2015b), mas há poucos estudos relacionando sistemas de manejo e acidez titulável do café. Em geral, baixos teores de acidez total titulável, indicam perda de qualidade devido à ocorrência de fermentação durante a secagem e devido à colheita em estágio inadequado de maturação dos grãos. A fermentação é influenciada pelas condições climáticas durante a colheita e secagem, pelo local de origem e ou pelo processamento (SILVA et al., 2016, LIMA FILHO et al., 2015; BORÉM et al., 2008; SIQUEIRA; ABREU, 2006),

#### **4.2.2 Qualidade sensorial do café**

A análise sensorial em conjunto com a condutividade elétrica, densidade e o pH dos grãos permitem indicar que manejo agroecológico (GUMECINDO-ALEJO et al., 2021), em SAF ou a PS, fertilizado ou não com pó de gnaisse auxiliaram na qualidade final das bebidas de café, exceto LA (SAF<sup>-</sup> e PS), pois todos obtiveram notas Q-grader acima de 80 (Tabela 8). Notas acima de 80 indicam café classificados como especiais, e, cafés com notas próximas à 65, como LA (SAF<sup>-</sup> e PS<sup>+</sup> e PS<sup>-</sup>, Tabela 8), são classificados como riados, de bebidas definidas como fenólicas, ou seja, café que apresenta sabor típico e acentuado de iodofórmio (COB, 2017).

Cafés com menores valores de condutividade elétrica obtiveram melhores escores na análise sensorial (OLIVEIRA et al., 2013). Entretanto, isto não foi observado em nossos estudos. Cafés com menores condutividades elétricas encontrados nos SAF (Figura 5) obtiveram bebidas de notas superiores (Tabela 8).

Em SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup> (Tabela 8) possivelmente, a qualidade do solo adubados com pó de gnaisse, com maior oferta de macro e micronutrientes disponíveis, resultaram numa maior qualidade da bebida de café, pois nesta propriedade (LA), o único sistema a

receber nota acima de 80 foi o tratamento SAF<sup>+</sup>. Segundo Rosas-Arellano et al. (2008), altos teores de Cu, aumentam a acidez e diminuem a qualidade da bebida do café. Entretanto, ao contrário do observado por Rosas-Arellano et al. (2008), o sistema com maior teor de Cu no solo (SAF<sub>LA</sub><sup>+</sup>) foi a que apresentou a maior nota sensorial (Figura 2; Tabela 8).

Segundo Rosas-Arellano et al. (2008), o balanço de nutrientes como Ca, Mg e Fe influenciam positivamente no aroma da bebida e a matéria orgânica do solo influencia o sabor final do café, produzindo cafés de alta qualidade, classificados como especiais. Entretanto, o teor de nutrientes não refletiu nas notas sensoriais do café (Tabela 8).

Outros estudos, e de logo prazo são necessários para melhor entendimento do efeito do manejo, especialmente de SAF e do pó de rocha, sobre a qualidade do café e para identificar critérios menos subjetivos para a avaliação da qualidade da bebida. Embora a avaliação sensorial seja muito utilizada, ela é qualitativa e muito subjetiva e outros critérios menos subjetivos, precisam ser incorporados para avaliar qualidade da bebida do café.

## 5. CONCLUSÕES

A aplicação do pó de gnaiss, encontrado localmente, melhorou a qualidade dos solos cultivados com café, principalmente em SAFs. A aplicação desse insumo nos SAFs favoreceu a maior biodiversidade e maior atividade microbiana, o que possibilitou o aumento na disponibilização de macro e micronutrientes para as plantas. Ademais, não houve, em geral, aumento de metais pesados, como Cd, Pb e Cr no solo. A umidade do solo foi também maior nos SAFs. O manejo agroecológico melhorou a qualidade do café, o que refletiu em bebidas de melhor qualidade, avaliada em seus parâmetros físicos, bioquímicos e sensoriais.

Por ter se mostrado importante fonte de nutrientes para uma agricultura mais sustentável, sugere-se o uso de pós de gnaiss no cultivo de cafezais, como estratégia de manejo potencial para a construção e manutenção da qualidade do solo, nutrição das plantas e melhoria da qualidade da bebida do café. Entretanto, seu uso deve ser associado a manejos agroecológicos, como em SAFs, que potencializem a atividade dos microrganismos dos solos, para acelerar o intemperismo dos minerais presentes nos pós de rocha.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLOWAY, B. J. Heavy Metals in Soils. Edited by B. J. Alloway. Blackie Academic & Professional, London. 2013.

ALMEIDA, E.; SILVA, F. J. P.; RALISCH, R. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. *Agriculturas*, v. 4, n. 1, p. 7-10, mar. 2007.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos. *Biosci. J.*, 23:66-75, 2007.

ARAÚJO, A. S. F.; MELO, W. J. Soil microbial biomass in organic farming system. *Ciência. Rural*, 40:2419-2426, 2010.

BANDICK A. K.; DICK R. P. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol Biochem* 31:1471–1479. 1999.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; FONTES, A. G.; POLIDORO, J. C.; MOÇO, M. K. S.; MACHADO, R. C. R.; BALIGAR, V. C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. *Agroforestry Systems* 81: 213-220. 2011.

BEER, J.; MUSCHLER, R.; KASS, D.; SOMARRIBA, E. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems* 38: 139-164. 1998.

BEERLING, D. J.; LEAKE, J. R.; LONG, S. P.; SCHOLLES, J. D.; TON, J.; NELSON, P. N.; BIRD, M.; KANTZAS, E.; TAYLOR, L. L.; SARKAR, BINOY; KELLAND, M.; DELUCIA, E.; KANTOLA, I.; MÜLLER, C.; RAU, G.; HANSEN, J. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants*, 4 (3). pp. 138-147. ISSN 2055-0278. 2018.

SEPÚLVEDA, B. R., CARRILLO, A. A., Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga spp* and



*Musa spp*) in Northern Nicaragua. *Agric. Ecosyst. Environ.* 210, 25–35. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.032>.

BONIAO, R. D.; SHAMSHUDDIN, J.; VAN RANST, E.; ZAUZYAH, S.; OMAR, S. R. S. Changes in chemical properties and growth of corn in volcanic soils treated with peat, ground basalt pyroclastics, and calcium silicate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 33, n. 7-8, p. 1219-1233, 2002. <https://doi.org/10.1081/CSS-120003883>

BOTE A. D.; VOS J. Tree management and environmental conditions affect coffee (*Coffea arabica L.*) bean quality. *NJAS Wageningen Journal of Life Science*, 83:39-46, 2017.

BORÉM, F. M.; CORADI, P. C.; SAATH, R.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade do café natural e despulpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. *Ciênc. agrotec., Lavras*, v. 32, n. 5, p. 1609-1615, set./out., 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, 14 mar. 2016. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumosagropecuarios/insumosagricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>. Acesso em: 30 maio. 2020.

BRASIL. 2013. Lei nº 12.890 de 10 de dezembro de 2013. Mudanças da Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como insumo para agricultura. Acessado em 01 de set de 2018. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm/](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato20112014/2013/Lei/L12890.htm/).

BRESSANELLO, D.; LIBERTO, E.; CORDERO, C.; RUBIOLO, P.; PELLEGRINO, G0.; RUOSI, M. R.; BICCHI, C. Coffee aroma: Chemometric comparison of the chemical information provided by three different samplings combined with GC-MS to describe

the sensory properties in cup. *Food Chemistry*, 214:218-226, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.088>

BSCA, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAFÉS ESPECIAIS. Anuário Brasileiro do Café 2020. 2021. 47 p. Disponível em: [https://bsca.com.br/assets/Geral/CAFE\\_2020-1.pdf](https://bsca.com.br/assets/Geral/CAFE_2020-1.pdf)

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 19, n. 1, p. 121-126, 1995.

CARDOSO, I. M.; GUIJT, I.; FRANCO, F. S.; CARVALHO, A. F.; FERREIRA NETO, P. S. Continual learning for agroforestry system design: University, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agricultural Systems*, v.69, p. 235-257. 2001.

CARDOSO, I. M.; BODDINGTON, C.; JANSSEN, B. H.; OENEMA, O.; KUYPER, T. W. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. *Agroforest Syst* 58:33–43. 2003a.

CARDOSO, I. M.; JANSSEN, B. H.; OENEMA, O.; KUYPER, T. W. Phosphorus pools in Oxisols under shaded and unshaded coffee systems on farmers' fields in Brazil. *Agrofor Syst* 58:55–64. 2003b.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Scientia Agricola*, v. 70, n. 4, p. 274–289, 2013.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FERNANDES, L. A.; OLIVEIRA JR., A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:6974, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100009>

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, C. D.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; RODRIGUES, D. C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36:557-565, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000300022>

CARVALHO, C.; BORÉM, F. M.; PEREIRA, R. G.; F. A.; SILVA, F. M.; HARDOIN, P. R.; MARAIS, A. R. The electrical conductivity reflects the density of the coffee. *Anais. II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*. 2001. Disponível em: <http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/consorcio/separador2/simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil/543-anais-do-ii-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil>

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001100015>

CARVALHO, A. M. X. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. PhD thesis, Universidade Federal de Viçosa, Brasil. 116 p. 2012.

CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, M. E. P.; THEODORO, S. H. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica. Capítulo de livro. In: *Solos e Agroecologia*. 1 Ed. Brasília: Embrapa, 2018, v.4, p.103-128. 2018.

CARVALHO, A. M. X.; MENDES, F. Q.; TAVARES, L.F. SPEED Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 20(3): e327420312, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332020v20n3s46>

CARVALHO, A. F.; FERNANDES-FILHO, E. I.; DAHER, M.; GOMES, L. C.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, R. B. A.; SCHAEFER, C. E. G. R. Microclimate and soil and water loss in shaded and unshaded agroforestry coffee systems. *Agroforest Syst.* 2021. 95:119–134. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00567-6>

CASTILHOS, D. D.; VIDOR, C.; TEDESCO, M. Redução do Cr em solo suprido com lodo de curtume e Cr hexavalente. *Revista Brasileira de Agrociência, Pelotas*, v.5, n. 3, p. 228- 232, set-dez, 1999.

CHANDER, K., GOYAL, S., NANDAL, D. et al. Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system. *Biology and Fertility Soils* 27, 168–172 (1998). <https://doi.org/10.1007/s003740050416>.

CLARKE, R. J.; MACREA, R. *Coffee. Volume 2: Technology*, Amsterdam: Elsevier Applied Science, 321p, 1987.

CLEMENTE, A. C. S.; CIRILLO, M. A.; MALTA, M. R.; CAIXETA, F.; PEREIRA, C.C.; ROSA, S. D. V. F. Operações pós-colheita e qualidade físico-química e sensorial de cafés. *Coffee Science*, v. 10, n. 2, p. 233-241, 2015a.

CLEMENTE, J. M.; MARTINEZ, H. M. P.; ALVES, L. C.; FINGER, F. L.; CECON, P. R. Effects of nitrogen and potassium on the chemical composition of coffee beans and on beverage quality. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 37, n. 3, p. 297-305, 2015b.

COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D.S.; BOLOTA, E.L. Atividade microbiana em solos cultivados em sistema de plantio direto. *Inf. Agropec.*, 22:84-91, 2001.

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. Resolução nº 166, de 29 de junho de 2011. Altera o Anexo I da Deliberação Normativa Conjunta

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. Resolução nº 2 de 6 de setembro de 2010, estabelecendo os valores de referência de qualidade dos solos. *Diário do Executivo – Minas Gerais*, de 27 julho. 2011.

CORREIA, F. C.; VASQUEZ, M. L. Potencial para rochagem de rochas sedimentares na bacia do amazonas no Pará. *Anais. II Congresso Brasileiro de rochagem. Poços de Caldas, Minas Gerais*, 399p. 2013.

CPRM. Serviço geológico do Brasil. Geologia da folha de Manhuaçu. SF.23-X-B-III. Programa Geologia do Brasil. Levantamentos geológicos básicos. 2007. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/pgb/rel\\_manhuacu.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/pgb/rel_manhuacu.pdf). Acessado em: 24 de março de 2022.

CUPERTINO, M. C.; SOUZA, M. E. P.; FRANCO, E. H.; CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M. Sistematização das experiências com pó de rocha na Zona da Mata mineira Cadernos de Agroecologia, [S.l.], v. 10, n. 3, may 2016. ISSN 2236-7934. ... 3 (2015): Resumos do IX Congresso Brasileiro de Agroecologia. 2016.

DAMATTA, F.; RODRÍGUEZ, N. Produção sustentável de cafezais em sistemas agroflorestais dos neotrópicos: uma visão agrícola e ecofisiológica. Agronomía Colombiana 25(1), 113-123, 2007.

DIAS, K. G. L.; GUIMARÃES, GONTIJO, P. T.; CARMO, D. L., REIS, T. H. P., LACERDA, J. J. Fontes alternativas de potássio em cafeeiros para melhoria da fertilidade do solo, da produtividade e da qualidade de bebida. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.53, n.12, p.1355-1362, Dec. 2018 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018001200008>

DI DONFRANCESCO, B.; GUTIERREZ, G. N.; CHAMBERS IV, E. Comparison of results from cupping and descriptive Sensory analysis of Colombian brewed coffee. Journal of Sensory Studies, 29(4)301-311, 2014.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment Madison: Soil Science Society of America, p. 3-21. (SSSA special publication, 35). 1994.

DORAN, J. W.; JONES, A. J. Methods for assessing soil quality. Madison, Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, 409 p. 1996.

DUARTE E. M. G. G.; CARDOSO, I.M.; STIJNEN T.; MENDONÇA, M. A. F. C.; COELO, M. S.; CANTARUTTI, R. B.; KUYPER, T. W.; VILLANI, E. M. A.;

MENDONÇA, E. S. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. *Agrofor Syst* 87:835–847. 2013. <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9600-6>.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 20:601-606, 1988.

EMBRAPA SOLOS. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa. Brasília, DF. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª edição. 2018.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 1, p. 11-20, mar. 1998. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831998000100002>

FADIGAS, F. S.; AMARAL-SOBRINHO, M. N.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H.; FREIXO, A. A. Concentrações naturais de metais pesados em algumas classes de solos brasileiros. *Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia (AGRUFBA)*, p. 1-9, 2002.

FYFE, W. S.; LEONARDOS, O.; THEODORO, S. H. Sustainable farming with native rocks: The transition without Revolution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 78(4): 715-720. I SSN 0001-3765. SSN 0001-3765. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400007>

FIXEN, P. E.; JOHNSTON, A. M. World fertilizer nutrient reserves: a view to the future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 92, n. 5, p. 1001-1005, Mar. 2012. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4532>

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, I. C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K.

Global consequences of land use. *Science*, v. 309, n. 2, p. 570-575, July 2005.  
<https://doi.org/10.1126/science.1111772>

FORMOSO, M. L. L. Some topics on geochemistry of weathering: a review. *Academia Brasileira de Ciências*. 78:809-820. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400014>

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURTI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. *Revista Ciência Agronômica*, v.43, n.3, p.417-428, 2012.

FRANCO, F. S.; COUTO, L.; CARVALHO, A. F.; JUCKSCH, I.; FILHO, E. I. F.; SILVA, E.; NETO, J. A. A. M. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de Minas Gerais. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.751-760, 2002.

GLIESSMAN, S. Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. Volume 40. 2016.  
<https://doi.org/10.1080/21683565.2015.1130765>

GILLMAN, G. P.; BURKETT, D. C.; COVENTRY, R. J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effect on soil cation chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, v. 39, n. 4, p. 799-811, 2001.  
<https://doi.org/10.1071/SR00073>

GUMECINDO-ALEJO, A. L.; SÁNCHEZ-LANDERO, L. A.; ORTIZ-CEBALLOS, G. C.; CERDÁN-CABRERA, C. R.; ALVARADO-CASTILLO, G. Factors related to coffee quality, based on the “Cup of Excellence” contest in Mexico. ISSN: 1984-3909. *Coffee Science*, e161887, 2021. <https://doi.org/10.25186/v16i.1887>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ – IAL. Métodos físicoquímicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1020 p. 2008.

JACKSON, L. E.; CALDERON, F. J.; STEENWERTH, K. L.; SCOW, K. M.; ROLSTON, D.E. Responses of soil microbial processes and community structure to tillage events and implications for soil quality. *Geoderma*, 114:305-317, 2003.

JANDL, R.; RODEGHIERO, M.; MARTINEZ, C.; COTRUFO, M. F.; BAMPA, F.; VAN WESEMAEL, B.; HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; RICHTER JR, D.; RUSTAD, L.; LORENZ, K.; CHABBI, A.; MIGLIETTA F. Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. *Science of the Total Environment*, Barcelona, v. 468-469, s/n., p. 376-383, 2014.

JEZEER, R. E., SANTOS, M. J., VERWEIJ, P. A., BOOT, R. G. A., CLOUGH, Y. Benefits for multiple ecosystem services in Peruvian coffee agroforestry systems without reducing yield. *Ecosyst. Serv.* 40, 1–13. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101033>

JIMENEZ, P.; ORTIZ, O.; TARRASON, D.; GINOVRT, M.; BONMATI, M. Effect of differently post-treated dewatered sewage sludge on  $\beta$ -glucosidase activity, microbial biomass carbon, basal respiration and carbohydrate contents of soils from limestone quarries. *Biol. Fert. Soils*, 44:393-398, 2007.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76:1–10. 2009.

KABATA-PENDIAS, A., PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3rd ed. Flórida: CRC Press. 315 p. 2001.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:4-10, 1997.

KELLY, B.; ALLAN, C.; WILSON, B.P. Soil indicators and their use by farmers in the Billabong Catchment, southern New South Wales. *Australian Journal of Soil Research* 47: 234-242. 2009.



KIBBLEWHITE, M. G.; RITZ, K.; SWIFT, M. J. Soil health in agricultural systems: Philosophical Transactions of the Royal Society. Biological Sciences, London, v. 363, n. 363, p. 685–670, 2008.

KNIGHT T. R.; DICK, R. P. Differentiating microbial and stabilized [beta]-glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biol Biochem* 36:2089–2096. 2004.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, p.37-51. (Special, 35). 1994.

LINHARES, L. A., EGREJA FILHO, F. B., OLIVEIRA, C. V., BELLIS, V. M. Adsorção de cádmio e chumbo em solos tropicais altamente intemperizados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 44, n. 3, p. 291-299, 2009.

LIMA FILHO, T.; LUCIA, S. M. D.; SARAIVA, S. H.; SARTORI, M. A. Composição físico-química e qualidade sensorial de café conilon produzido no Estado do Espírito Santo e submetido a diferentes formas de processamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 4, p. 1723-1730, 2013.

LIMA FILHO, T.; LUCIA, S. M. D.; SARAIVA, S. H.; LIMA, R. M. Características físico-químicas de bebidas de café tipo expresso preparadas a partir de blends de café arábica e conilon. *Revista Ceres*, v. 62, n. 4, p. 333-339, 2015.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; SÁ MENDONÇA, E.; FILHO, J. A. A. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.  
<https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500018>

MALAVOLTA, E. *A prática da calagem*. 3. ed. Sorocaba: Indústria Mineradora Pagliato Ltda, 1984. (Boletim Técnico, 2).

MALTA, M. R.; PEREIRA, R. G. F. A.; CHAGAS, S. J. R. Condutividade elétrica e lixiviação do potássio em exsudados de grãos de café: alguns fatores que podem influenciar nas avaliações. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 29, n. 5, p. 1015-1020, set/out., 2005. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542005000500015>

MANCUSO, M. A. C.; SORATTO, R. P.; CRUSCIOL, C. A. C.; CASTRO, G. S. A. Effect of potassium sources and rates on arabica coffee yield, nutrition, and macronutrient export. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 38, n. 5, p. 1448-1456, set./out. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000500010>

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 52 de março de 2022. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção e as listas de substâncias e práticas para o uso nos Sistemas Orgânicos de Produção. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-52-de-15-de-marco-de-2021-310003720>. Acessado em: 10 de junho de 2022.

MARQUES, V. L.; MARQUES, S. S. Rochagem no sul dos estados do Maranhão e Piauí. Anais. II Congresso de Rochagem. Poços de Caldas, Minas Gerais. 399p. 2013.

MARQUES, E. A. Determinação do valor de prevenção para Cr em solos do estado de Minas Gerais. 2015. 93 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologias e Inovações Ambientais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

MÁRQUEZ. F. R.; QUISPE, P.; MOLLEAPAIZA, S. C.; CABRERA, S.; PEÑA, S. Relación entre las características del suelo y altitud con la calidad sensorial de café cultivado bajo sistemas agroforestales en Cusco, Perú. Scientia Agropecuaria 11(4): 529 – 536. 2020. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.08>

MARTINS, É. S.; RESENDE, Á. V.; OLIVEIRA, C. G.; FURTINI NETO, A. E. Materiais silicáticos como fontes regionais de nutrientes e condicionadores de solos. In: FERNANDES, F. R.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (Ed.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. p. 89-104. 2010.

MARX, M. C.; KANDELER, E.; WOOD, M.; WERMBTER, N.; JARVIS, S. C. Exploring the enzymatic landscape: Distribution and kinetic of hydrolytic enzymes on soil particle-size fraction. *Soil Biol. Biochem.*, 37:35-48, 2005.

MELO, V. F.; CASTILHO, R. M. V.; PINTO, L. F. S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, R. F. S. (Eds.). *Química e mineralogia do solo. Parte I. Viçosa. SBCS.* 695p. 2009.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. *Matéria orgânica do solo; métodos de análises.* Viçosa: UFV; 107 p. 2005.

MENEZES, J. M. T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P. da; LEANDRO, R. C. Comparison of soils used for agroforestry and of remaining forests, in northern Rondônia State, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 2, p. 893-898, mar./abr. 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200043>

MERCANTE, F. M. Biomassa e atividade microbiana: Indicadores da qualidade do solo. *Direto Cerrado*, 9-10, 2001.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Sci. Agron.*, 5:479-485, 2008.

MIYAJI, F.; KONO, Y.; SUYAMA, Y. Formation and structure of zinc-substituted calcium hydroxyapatite. *Materials Research Bulletin*, 40: 209-220, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2004.10.020>

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 61: 281-295. 2004.

MOURA, W. M.; LIMA, P. C.; LOPES, V. S.; CRAVALHO, C. F. M.; CRUZ, C. D.; OLIVEIRA, A. M. C. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de café no cultivo

orgânico em Minas Gerais. *Fitotecnia. Cienc. Rural* 44 (11). Nov 2014.  
<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130233>

MUTUAL, P. K.; CADISCH, G.; ALBRECHT, A.; PALM, C. A.; VERCHOT, L. Potential of agroforestry for carbon sequestration and mitigation of greenhouse gas emissions from soils in the tropics. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 71: 43-54. 2005.

NAIR, P. K. R.; BURESH, R. J.; MUGENDI, D. N.; LATT, C. R. Nutrient cycling in tropical agroforestry systems: myths and science. p. 1-31. In: BUCK, L. E.; LASSOIE, J. P.; FERNANDES, E. C. M., eds. *Agroforestry in sustainable agricultural systems*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 1999.

NARAIN, P.; SINGH, R. K.; SINDHWAL, N. S.; JOSHI, P. Water balance and water efficiency of different land uses in western Himalayan valley region. *Agriculture Forest Meteorology*, v.37, n.3, p.225-240, 1998.

NDIAYE E. L.; SANDENO J. M.; MCGRATH D.; DICK R. P. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *Am J Altern Agric* 15:26–36. 2000.

NEVES, Y. P.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, C. M.; CECON, P. R. Teor de água e fertilidade do solo com cafeeiros cultivados em sistemas agroflorestais. *R. Árvore*, Viçosa-MG, v.31, n.4, p.575-588, 2007.

NIGUSSIE, A.; KISSI, E. The contribution of coffee agroecosystem to soil fertility in Southwestern Ethiopia. *Environmental Science. African Journal of Agricultural Research*. 2012. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1566>

NOTARO, K. A.; MEDEIROS, E. V.; DUDA, G. P.; SILVA, A. O.; MOURA, P. M. Agroforestry systems, nutrients in litter and microbial activity in soils cultivated with coffee at high altitude. *Sci. Agric.* v.71, n.2, p.87-95, 2014.  
<https://doi.org/10.1590/S0103-90162014000200001>

NOVAIS, R. F.; MELLO, J. W. V. Relação Solo-Planta. In: NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade do Solo*. Viçosa: Editora SBCS, p. 133-205. 2007.

NUNES, L. A. P. L.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I.; BARROS, N. F.; KASUYA, M. C. M.; CORREIA, M. E. F. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da mata mineira. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.9, p.2467-2474, ISSN 0103-8478. 2009.

OLIVEIRA, P. D.; BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; GIOMO, G. S.; LIMA, R. R.; CARDOSO, R. A. Aspectos fisiológicos de grãos de café, processados e secados de diferentes métodos, associados à qualidade sensorial. *Coffee Science*, v. 8, n. 2, p. 211- 220, 2013.

OLIVEIRA, R. M. Quintais e uso do solo em propriedades familiares. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 118 p. 2015.

OWINO-GERROH, C.; GASCHO, G. L. Effect of silicon on low pH soil phosphorus sorption and uptake and growth of maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 35: 2369-2379, 2004. <https://doi.org/10.1081/LCSS-200030686>

OYOLA, T. S.; TRUJILLO, B. D.; GUTIÉRREZ, G. N. Aplicación del proceso analítico jerárquico AHP para definir la mejor taza en evaluación de cafés especiales. *Coffee Science*, 12(3):374-380, 2017.

PALMAN, C. A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agroforestry Systems*, v.30, p.105-124, 1995.

PEREIRA, D. G. C.; SANTANA, I. A.; MEGDA M. M.; MEGDA, M. X. V. Potassium chloride: impacts on soil microbial activity and nitrogen mineralization. *Soil Science. Cienc. Rural*. 49 (5). 2019. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180556>

POZZA, A. A. A.; COSTA, E. T. S.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. G. S. M.; MOTTA, P. E. F. Retenção e dessorção competitivas de ânions inorgânicos em gibbsite natural de solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42: 1627-1633, 2007.

QUIRK, J.; BEERLING, D. J.; BANWART, S. A.; KAKONYI, G.; ROMERO-GONZALEZ, M. E.; LEAKE, J. R. Evolution of trees and mycorrhizal fungi intensifies silicate mineral weathering. *Biology Letters*, 8 (6). 2012. <https://doi.org/1006 - 1011. ISSN 1744-9561>

REICHARDT; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. 2º ed. Barueri, SP: Manole, 2012.

REN, F.; XIN, R.; GE, X.; LENG, Y. Characterization and structural analysis of zinc-substituted hydroxyapatites. *Acta Biomaterialia*, 5: 3141-3149, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2009.04.014>

REZENDE, M. Q.; VENZON, M.; PEREZ, A. L.; CARDOSO, I. M.; JANSSEN, A. Extrafloral nectaries of associated trees can enhance natural pest control, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 188, 198-203, ISSN 0167-8809, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.024>

REZENDE, M. Q.; VENZON, M.; SANTOS, P. S.; CARDOSO, I. M.; JANSSEN, A. Extrafloral nectary-bearing leguminous trees enhance pest control and increase fruit weight in associated coffee plants, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 319, 2021, ISSN 0167-8809, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107538>

RIBEIRO, A. C., GUIMARÃES, P. T. G., ALVAREZ, V. H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação. Viçosa, MG, 359p. 1999.

RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; FERNÁNDEZ-NÚÑEZ, E.; GONZALEZ, M.C.A.; MOSQUERA-LOSADA, M.R. *Agroforestry Systems in Europe: Productive, Ecological and Social Perspectives*. 2008.

ROMERO, J. C. P.; ROMERO, J. P.; GOMES, F. P. Condutividade elétrica (CE) do exsudato de grãos de *Coffea arabica* em 18 cultivares analisados no período de 1993 a 2002. *Revista de Agricultura, Piracicaba*, v. 78, n. 3, p. 293- 302, dez. 2003.

ROSAS-ARELLANO, J. et al. Relación de los nutrientes del suelo con las características físicas y sensoriales del café orgánico. *Terra Latinoamericana*, 26(4):375-384, 2008.

ROUSSEAU, L.; FONTE, S. J.; TÉLLEZ, O.; HOEK, R. van der.; LAVELLE, P. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*, Amsterdam, v. 27, p. 71-82, 2013.

SALAZAR, J. C. S.; BURGOS, E. R.; BAUTISTA, E. H. D. Efecto de las condiciones de cultivo, las características químicas del suelo y el manejo de grano en los atributos sensoriales de café (*Coffea arabica* L.) en taza. *Acta Agronomy*, v.64, n.4, p.342-348, 2015.

SATTER, M. A.; HANAFI, M. M.; MAHMUD, T. M. M.; AZIZAH, H. Influence of arbuscular mycorrhiza and phosphate rock on uptake of major nutrients by *Acacia mangium* seedlings on degraded soil. *Biol Fertil Soils* 42:345–349. 2006.

SILESHI, G.; SCHROTH, G.; RAO, M. R.; GIRMA, H. 2007. Weeds, diseases, insect pests, and tri-trophic interactions in tropical agroforestry. p. 73-94. In: Batish, D.R.; KOHLI, R.K.; JOSE, S.; SINGH, H.P., eds. *Ecological basis of agroforestry*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. 2007.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC. p. 467-524.1997.

SILVA, M. L. S.; VITTI, G. C. Fracionamento de metais pesados em solo contaminado antes e após cultivo de arroz. *Química Nova*, v. 31, n. 6, p. 1385-1391, 2008.

SILVA, F.C. *Manual de análises químicas de solos plantas e fertilizantes*. 2ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 627p. 2009.

SILVA, P. A.; OLIVEIRA, M. G.; COELHO, P. O.; SILVA, J. A. C. Quality of coffee cultivated in Campos Gerais, Minas Gerais. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 38, n. 1, p. 1-5, 2016.

SILVA, N. M. R. M. Diversidade microbiana e microbiota solubilizadora de fosfato em solos de cafezais orgânicos em sistemas agroflorestais e a pleno sol. Dissertação (Mestrado em AGROECOLOGIA) - Universidade Federal de Viçosa. 2017.

SIQUEIRA, H. H.; ABREU, C.M.P. Composição físico-química e qualidade do café submetido a dois tipos de torração e com diferentes formas de processamento. *Ciência e agrotecnologia*, v. 30, n. 1, p. 112-117, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000100016>

SIVETZ, M.; DESROSIER, N. W. Physical and chemical aspects of coffee. *Coffee Technology*, Westpor, p. 527- 575, 1979.

SOARES, G. J. Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas agroflorestais e na captura de dióxido de carbono atmosférico. Mather Thesis, University of Brasília. 99p. 2018. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/33088?locale=en>

SPECIALITY COFFEE ASSOCIATION OF AMERICA. SCAA Protocols. Cupping Specialty Coffee. Long Beach: SCAA, 7 p. 2009.

SOUZA, H. N.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, J. M.; GARCIA, F. C. P.; BONFIN, V. R.; SANTOS, A. C.; CARVALHO, F. A.; MENDONÇA, E.S. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. *Agroforestry systems*. 80:1-16. 2010.

SOUZA, H. N.; GOEDE, R. G.; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I. M.; DUARTE, E. M.; FERNANDES, R. B. A.; PULLEMAN, M. M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic rainforest biome. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 146: 179-196. 2012.



SOUZA, M. D. C. Fracionamento de Cr em águas superficiais por ultrafiltração tangencial. *Geochimica Brasiliensis*, v.28, n.1, p. 2-12, 2014.

SOUZA, M. E. P., CARDOSO, I. M., CARVALHO, A. M. X., LOPES, A. P., JUCKSCH, I., JANSSEN, A. Rock Powder Can Improve Vermicompost Chemical Properties and Plant Nutrition: an On-farm Experiment, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2018.

STEVENS, D. O uso da vermicompostagem para redução do Cr em lodo de curtume e após aplicação como fertilizante em cultivo de cebolinha (*allium fistulosum l.*). 2014. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Centro Universitário Univates, Lajeados, 2014.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J., eds. *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison, Soil Science Society of America, p.778-835. (Special Publication, 5). 1994.

TAVAKKOLI, E.; ENGLISH, P.; GUPPY, C. N. Interaction of silicon and phosphorus mitigate manganese in a highly weathered soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42:503-513, 2011.

TEIXEIRA, H.; CARDOSO, I. M.; BIANCHI, F.; CRUZ SILVA, A.; JAMME, D.; PEÑA-CLAROS, M. Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic Forest. *Forest Ecology and Management*. 457. 2019.

THEODORO, S. H. A Fertilização da terra pela Terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. 221 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2000.

THEODORO, S. H., LEONARDOS, O.; ROCHA, REGO, E. L K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Espaço & Geografia* 9:263–92. 2006.

THEODORO, S. H., LEONARDOS, O. H., REGO, K. G., MEDEIROS, F. P., TALINI, N. L.; SANTOS, F. Uso de rochas e materiais orgânicos para fertilização e remineralização dos solos. 2012. Disponível em: [http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2012/workshop\\_insumos/PALESTRAS%20PDF/Theodoro.pdf](http://www.cpact.embrapa.br/eventos/2012/workshop_insumos/PALESTRAS%20PDF/Theodoro.pdf).

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Stonemeal: principles, potentialities, and perspectives from Brazil. In: GOREAU, T. J.; LARSON, R. W.; CAMPE, J. Geotherapy: innovative methods of soil fertility restoration, carbon sequestration, and reversing CO<sub>2</sub> increase. New York: CRC Press, 2014. P.403-418. <https://doi.org/10.1201/b13788-23>

THEODORO, S. H.; MEDEIROS, F. P.; IANNIRUBERTO, M. Tecnologias para a gestão de assoreamento em reservatórios. In: 47º Congresso Brasileiro de Geologia, 2014, Salvador. 47º Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo: SBG, p. 1-1. 2014.

THEODORO, S. H.; MEDEIROS, F. P.; IANNIRUBERTO, M.; JACOBSON, T. K. B. Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. Journal of South American Earth Sciences. Volume 107, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103014>

TIAN, Y.; CAO, F.; WANG, G.; ZHANG, W.; YU, W. Soil Microbiological Properties and Enzyme Activities in Ginkgo-Tea Agroforestry Compared to Monoculture. Forest Res 1:107. <https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000107.2012>

TOLEDO, V. M.; MOGUEL, P. Coffee and sustainability: The multiple values of traditional shaded coffee. Journal of Sustainable Agriculture, 36(3):353-377, 2012.

TOLESSA, K.; RADEMAKER, M.; BAETS, B.; BOECKX, P. Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans. Talanta, 150:367-374, 2016.

TUMWEBAZE, S. B.; BEVILACQUA, E.; BRIGGS, R.; VOLK, T. Soil organic carbon under a linear simultaneous agroforestry system in Uganda. Agroforestry Systems 80: 1-13. 2012.

VALLEJO, V. E.; ROLDAN, F.; DICK, R. P. Soil enzymatic activities and microbial biomass in an integrated agroforestry chronosequence compared to monoculture and a native forest of Colombia. *Biol Fertil Soils* (2010) 46:577–587.

<https://doi.org/10.1007/s00374-010-0466-8>

VIEIRA, M. X., MARIANO, E., LEITE, J. M., MEGDA, M. M., OCHEUZE TRIVELIN, P. C. Chloride ion as nitrification inhibitor and its biocidal potential in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 72, 84–87. 2014. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.030>

VOILLEY, A.; SAUVAGEOT, F.; SIMATOS, D.; WOJCIK, G. Influence of some processing conditions on the quality of coffee brew. *Journal Food Processes Preservation*. 5: 135–143. 2007. <http://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1981.tb00629.x>

WANG, J.; REN, C.; CHENG, H.; ZOU, Y.; BUGHIO, A. M.; LI, Q. Conversion of rainforest into agroforestry and monoculture plantation in China: Consequences for soil phosphorus forms and microbial Community. *Science of the Total Environment* 595 769–778. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.012>

WINTGENS, J. N. Factors influencing the Quality of Green Coffee. In book: *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers* (pp.789 - 809). 2008. <http://dx.doi.org/10.1002/9783527619627.ch29>

YOUNG, A. Agroforestry takes root in Ethiopia. *Agroforestry Today*, v.1, p.13-16, 1989.

ZANELLI, F. V.; SILVA, L. H. Intercâmbios agroecológicos: processos e práticas de construção da agroecologia e da Educação do Campo na zona da mata mineira. *PERSPECTIVA*, Florianópolis, v. 35, n. 2, p. 638-657. 2017. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-795X.2017v35n2p638>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os agricultores familiares agroecológicos e em processo de transição para a agricultura orgânica tem utilizado alguns pós de rochas, principalmente no cultivo do café. O uso dos pós de rochas, permitido na agricultura orgânica pela legislação, pode melhorar a qualidade dos solos se aliados às tecnologias que potencializa os processos biológicos, tais como a vermicompostagem e os sistemas agroflorestais. Entretanto, há alguns desafios no uso dos pós de rochas.

No capítulo 1, objetivou-se identificar e analisar as técnicas e os desafios no uso de pós de rocha apresentadas por agricultores familiares que participaram de eventos agroecológicos na Zona Mata mineira. Dentre as técnicas utilizadas encontram-se a associação dos pós de rochas com a vermicompostagem, com os sistemas agroflorestais e com a adubação verde. Os eventos agroecológicos contribuíram para visibilizar o reconhecer os saberes daqueles que lidam com a terra e sobre a importância das tecnologias com os pós de rocha e seus usos. Estes eventos foram úteis também para apontar novos caminhos de pesquisa relacionados ao uso de pós de rocha, especialmente o pó de gnaïsse. Por exemplo, os agricultores querem saber mais sobre a eficiência e o custo dos pós de rocha, especialmente para a produção de café

O capítulo 2 objetivou avaliar, em casa de vegetação, o potencial de pós de rochas silicatadas para a produção de mudas de café (*Coffea arabica*) orgânico, através do crescimento de mudas fertilizadas com substratos produzidos com pós de gnaïsse e esteatito vermicompostados. O processo de vermicompostagem com a adição dos pós de gnaïsse e esteatito contribuiu para a maior liberação de nutrientes contidos nesses materiais em relação aos controles (pós de gnaïsse e esteatito ou vermicomposto sem rocha). Os pós de rocha vermicompostados favoreceram o desenvolvimento de mudas de café. Os metais pesados presentes nos pós de rochas não foram absorvidos pelas plantas, principalmente quando os pós de rochas foram vermicompostados, embora o pó de esteatito contivesse teores de Ni e Cr acima do permitido pela legislação. Com isto, indica-se que o uso de pó de gnaïsse com ou sem vermicompostado, possui potencial de uso para a produção de substratos para o cultivo de mudas de espécies perenes arbóreas e também para outros cultivos, inclusive em sistemas orgânicos.

Entretanto, o uso do pó de esteatito, puro ou vermicompostado, requer cuidados. Para compor substratos para a produção de mudas, em especial de espécies perenes que não tenham a finalidade de produção de alimentos, os pós de esteatito vermicompostado possuem potencial de uso, já que as quantidades utilizadas para composição desses substratos são pequenas e não se repetirão em adubação de campo. Entretanto, por precaução, o uso do pó de esteatito de forma mais ampla necessita de estudos de longa duração para o entendimento da dinâmica dos metais pesados e sua disponibilização ou não para o sistema solo-planta ao longo do tempo.

O capítulo 3 avaliou a influência do uso do pó de gnaïsse na qualidade do solo e do café produzido em sistema agroflorestal (SAF) e a pleno sol (PS). O estudo foi conduzido em três propriedades de agricultura familiar, no município de Divino, Minas Gerais. A aplicação do pó de gnaïsse influenciou a qualidade dos solos. Nos SAFs, sistema com maior biodiversidade houve maior disponibilização de macro e micronutrientes presentes no pó de gnaïsse para as plantas, o que influenciou também nos parâmetros físicos e microbiológicos do solo. Os solos em SAFs ficaram mais úmidos e com maior atividade dos microrganismos no solo. O manejo agroecológico em SAF ou PS melhorou a qualidade do solo e a qualidade da bebida, em seus parâmetros físicos, bioquímicos e sensoriais.

Portanto, as técnicas de vermicompostagem e o manejo em sistemas agroflorestais demonstraram eficiência no processo de disponibilização de nutrientes dos pós das rochas estudadas, imobilização de metais pesados e melhoria da qualidade dos solos. Com isto, os pós de rochas, principalmente de gnaïsse, disponível em muitas regiões do Brasil, são importantes aliados no processo de transição agroecológica e orgânica.

Apesar do potencial demonstrado, os pós de gnaïsse e esteatito não são considerados remineralizadores pela IN 5/2016, pois excedem os teores de sílica livre estipulados pela legislação ou possuem metais pesados acima do permitido. Portanto, estudos relacionados aos materiais que não são reconhecidos como remineralizadores pela legislação precisam ser aprofundados, pois em alguns casos, eles podem ser utilizados como fontes de nutrientes, a depender da técnica de manejo utilizada, o que pode contribuir para a sustentabilidade geral dos agroecossistemas e a autonomia dos agricultores familiares.

**ANEXOS****PERFIL I**

NÚMERO DE CAMPO – P1 GA

DATA – 27/06/2019

CLASSIFICAÇÃO – Argissolo Vermelho-Amarelo, textura arenosa, A moderado, hipoférrico, sódico, hipereutrófico, alcalino, fase campo tropical, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Corte de estrada em propriedade rural em Taquaraçu, Divino – MG. Latitude: -20.654.947; Longitude: -42.183.258

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil em corte de estrada, com 5 a 15% de declive, sob lavoura de café.

ALTITUDE – 650 metros

LITOLOGIA – Ortognaisse enderbítico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Complexo Juiz de Fora

CRONOLOGIA - Paleoproterozóico

MATERIAL DE ORIGEM - produtos da alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - não pedregoso.

ROCHOSIDADE - ligeiramente rochoso.

RELEVO LOCAL - ondulado.

RELEVO REGIONAL – forte ondulado.

EROSÃO - não aparente.

DRENAGEM - bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta estacional semidecidual.

USO ATUAL – Lavoura de café.

CLIMA - Cwa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Fernanda Medeiros e João Reis

**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA****A**

0 - 10 cm, bruno escuro (7.5YR 3/4, úmido), e bruno-amarelado claro (10YR 6/4, seco); franco-arenosa; moderada pequena e média blocos subangulares; extremamente duro, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.

**BA** 10 - 20 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/3, úmido), e amarelo-avermelhado (7.5YR 6/6, seco); areia-franca; cerosidade comum fraca; moderada pequena e média blocos subangulares; extremamente duro, firme, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

**Bt1** 20 - 50 cm, bruno-avermelhado (5YR 4/4, úmido), e bruno-forte (7.5YR 5/8, seco); cerosidade comum moderada; forte média e grande blocos subangulares; extremamente duro, firme, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.

**Bt2** 50 - 130+ cm, vermelho-amarelado (5YR 4/6, úmido), e amarelo-avermelhado (7.5Y 6/8, seco); franco-arenosa; cerosidade comum moderada; fraca muito pequena e pequena blocos subangulares; extremamente duro, firme, plástica e pegajosa.

**RAÍZES** - muitas finas e muito finas no A; comuns finas e muito finas no E1; poucas finas, e comuns muito finas no E2; poucas finas e muito finas em Bh1; raras finas e muito finas no Bh2; raras muito finas no Btn1; e ausentes nos demais horizontes

#### OBSERVAÇÕES:

- Presença de alguns poucos afloramentos de rocha no local;
- Fragmentos de rocha comuns pequenos e poucos médios em Bt2;
- Atividade biológica observada próximo (térmitas) e no local do perfil (formigas), em diferentes horizontes.

## PERFIL 2

NÚMERO DE CAMPO – Perfil: LA

DATA – 29/06/2019

CLASSIFICAÇÃO – Latossolo Amarelo, textura arenosa, A moderado, hipoférrico, sódico, hipereutrófico, alcalino, fase campo tropical, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Propriedade rural em Taquaraçu, Divino – MG. Latitude: -20.660.748; Longitude: - 42.180.294.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil descrito em trincheira, em terço superior de vertente convexa, com 10 a 15% de declive, sob lavoura de café.

ALTITUDE – 724 metros

LITOLOGIA – Ortognaisse enderbítico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Complexo Juiz de Fora

CRONOLOGIA - Paleoproterozóico

MATERIAL DE ORIGEM - produtos da alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - não pedregoso.

ROCHOSIDADE - não rochoso.

RELEVO LOCAL – forte ondulado.

RELEVO REGIONAL – forte ondulado.

EROSÃO – laminar ligeira.

DRENAGEM - bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta estacional semidecidual.

USO ATUAL – Pastagem/Pousio.

CLIMA - Cwa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Fernanda Medeiros e João Reis

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0 - 15 cm, bruno-avermelhado escuro (5YR 3/3, úmido), e bruno (7.5YR 5/4, seco); franco-arenosa; moderada; grandes blocos subangulares; duro, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; transição clara e plana.
- BC1** 30 - 100 cm, vernelho-amarelado (5YR 4/6, úmido), e bruno-forte (7.5YR 5/6, seco); areia-franca; ligeiramente duro, friável, plástica e pegajosa; transição gradual e plana.



100 – 120+ cm, vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmido), e amarelo-  
**BC2** avermelhado (7.5YR 6/6, seco); franco-arenosa; fraca; pequenos blocos subangulares; macia, muito friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES - muitas finas e muito finas no A; comuns finas e muito finas no E1; poucas finas, e comuns muito finas no E2; poucas finas e muito finas em Bh1; raras finas e muito finas no Bh2; raras muito finas no Btn1; e ausentes nos demais horizontes

#### OBSERVAÇÕES:

-Intensa atividade biológica em todo o perfil;

- Solo descrito em local com pastagem degradada com vegetação natural em regeneração (solo exposto).

### PERFIL 3

NÚMERO DE CAMPO – Perfil GL

DATA – 29/06/2019

CLASSIFICAÇÃO – Cambissolo Háplico, textura arenosa, A moderado, hipoférrico, sódico, hipereutrófico, alcalino, fase campo tropical, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS – Propriedade rural em Taquaraçu, Divino – MG. Latitude: -20.642.626; Longitude: -42.202.702.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Perfil descrito em trincheira, em terço superior de vertente convexa, com 10 a 15% de declive, sob lavoura de café.

ALTITUDE – 724 metros

LITOLOGIA – Ortognaisse enderbítico

FORMAÇÃO GEOLÓGICA – Complexo Juiz de Fora

CRONOLOGIA - Paleoproterozóico

MATERIAL DE ORIGEM - produtos da alteração das rochas supracitadas.

PEDREGOSIDADE - não pedregoso.

ROCHOSIDADE - não rochoso.

RELEVO LOCAL – ondulado.

RELEVO REGIONAL – forte ondulado.

EROSÃO – não aparente.

DRENAGEM - acentuadamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta estacional semidecidual.

USO ATUAL – Plantio de café.

CLIMA - Cwa, da classificação de Köppen.

DESCRITO E COLETADO POR – Fernanda Medeiros e João Reis.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0 - 18 cm, bruno escuro (7.5YR 3/2, úmido), e bruno (7.5YR 5/4, seco); franco-arenosa; forte média e grande granular; ligeiramente duro, friável, muito plástica e ligeiramente pegajosa; transição gradual e plana.

**BA** 18 - 35 cm, bruno-amarelado (10YR 5/4, úmido), e bruno escuro (7.5YR 3/4, seco); areia-franca; moderada pequena e média blocos subangulares; ligeiramente duro, friável, muito plástica e muito pegajosa; transição difusa e plana.

**Bi** 35 – 120+ cm, bruno-amarelado escuro (10YR 4/4, úmido), e bruno escuro (7.5YR 3/4, seco); areia-franca; fraca; pequenos blocos subangulares que se desfaz em muito pequena moderada granular; macio, friável, plástica e pegajosa.

RAÍZES - muitas finas e muito finas no A; comuns finas e muito finas no E1; poucas finas, e comuns muito finas no E2; poucas finas e muito finas em Bh1; raras finas e muito finas no Bh2; raras muito finas no Btn1; e ausentes nos demais horizontes

#### OBSERVAÇÕES:

- A Apresentou maior resistência à penetração da faca até 35 cm;
  - Intensa atividade biológica observada em todo perfil;
  - Solo muito escuro.