

Série Rochas e Minerais Industriais

Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem – Parte I

**Guilherme de Resende Camara
Bruna Xavier Faitanin
Leonardo Luiz Lyrio da Silveira
Cid Chiodi Filho
Elton Souza dos Santos**



SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem – Parte I

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES

Marcos Cesar Pontes

Ministro de Estado

Sergio Freitas de Almeida

Secretário Executivo

Paulo Mauricio Jaborandy de Mattos Dourado

Subsecretário de Unidades Vinculadas

Vanessa Murta Rezende

Coordenadora-Geral das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Marusca Santana Custodio

Coordenadora de Administração - COADM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

ISSN 1518-9155

SRMI - 30

Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem – Parte I

Guilherme de Resende Camara

Eng. Agrônomo, D.Sc. em Produção Vegetal pela Universidade Federal do Espírito Santo. Pesquisador Bolsista DTI-A do CETEM/MCTI

Bruna Xavier Faitanin

Geóloga pela Universidade Federal do Espírito Santo. Pesquisadora Bolsista PCI do CETEM/MCTI

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Geólogo, D.Sc. em Geotecnia pela Universidade de São Paulo. Tecnologista Sênior do CETEM/MCTI

Cid Chiodi Filho

Geólogo pela Universidade de São Paulo. Consultor Técnico da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABRIRÓCHAS)

Elton Souza dos Santos

Químico, Mestrando em Agroquímica pela Universidade Federal do Espírito Santo. Técnico do CETEM/MCTI

CETEM/MCTI

2021

SÉRIE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS

Silvia Cristina Alves França

Editora

Luiz Carlos Bertolino

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Adão Benvindo da Luz (CETEM), Francisco Wilson Holanda Vidal (CETEM), Jurgen Schnellrath (CETEM), Arthur Pinto Chaves (EPUSP), Luis Lopes (Universidade de Evora), Carlos Adolpho Magalhães Baltar (UFPE), Marsis Cabral Junior (IPT).

A Série Rochas e Minerais Industriais publica trabalhos na área minerometalúrgica, com ênfase na aplicação de minerais industriais e de rochas ornamentais. Tem como objetivo principal difundir os resultados das investigações técnico-científicas decorrentes de projetos desenvolvidos no CETEM e em parceria com outras instituições de PD&I.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

CIP – Catalogação na Publicação

U89

Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem: Parte I / Guilherme de Resende Camara [et al.]. — Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021.

74p. - (Série Rochas e Minerais Industriais; 30).

ISBN 978-65-5919-006-5

1. Rochas ornamentais. 2. Remineralizadores. 3. Condicionadores. 4. Fertilização. I. Camara, Guilherme de Resende. II. Faitanin, Bruna Xavier. III. Silveira, Leonardo Lyrio. IV. Chiodi Filho, Cid. V. Santos, Elton Souza dos VI. Centro de Tecnologia Mineral. VII. Série.

CDD – 553.5

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 - 5849

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	11
2 CETEM DESAFIOS	16
2.1 Utilização de Rochas Ornamentais Ricas em Minerais Potássicos como Fonte Alternativa de Insumo Agrícola Via Rochagem	16
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 Aspectos Econômicos da Produção Agrícola Brasileira	19
3.2 O Uso de Fertilizantes na Agricultura Brasileira	20
3.3 O Uso da Rochagem na Remineralização dos Solos	22
3.4 Solubilização dos Nutrientes Minerais no Processo de Rochagem	26
4 CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA E ANÁLISE PETROGRÁFICA DAS ROCHAS SELECIONADAS PARA A PRESENTE PROPOSTA	31
4.1 Marrom Guaíba	31
4.2 Café Bahia	37
4.3 Café Imperial	44
4.4 Ocre Itabira	50
5 PERSPECTIVAS	57

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
7 AGRADECIMENTOS	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

RESUMO

Garantir a produção de alimentos de qualidade e em quantidade necessárias é um desafio global. Para isso, a agricultura convencional, ou agricultura moderna, faz uso de fertilizantes e corretivos com o objetivo de proporcionar o aumento da produção e da produtividade agrícola, de modo a atender as demandas econômicas em solos naturalmente ácidos e com baixa fertilidade. A necessidade de reposição de nutrientes no solo para a manutenção e aumento da produção e da produtividade agrícola acarreta, então, uma maior demanda de insumos, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, elementos essenciais e de maior exigência pelas culturas. Para isso, torna-se necessária a importação de grandes quantidades de fertilizantes solúveis, aproximadamente 80% do quantitativo necessário anual, o que torna o Brasil altamente dependente de insumos produzidos por outros países. Nessa perspectiva, o setor agrícola mundial necessita de novas alternativas de fertilização de solos que sejam ambientalmente menos agressivos, de menor custo e de fácil acesso aos produtores rurais, como a exemplo da rochagem, técnica que consiste no uso direto de rochas moídas como forma de melhorar os níveis de fertilidade dos solos. Com o objetivo de acelerar a solubilização dos nutrientes no sistema solo-planta, estudos na área de rochagem geralmente preconizam maximizar a liberação dos elementos químicos presentes nas rochas a partir da utilização de tratamentos físicos, químicos ou biológicos que promovam a sua solubilização. Com a presente proposta vinculada ao programa 'Cetem Desafios', objetiva-se proporcionar um embasamento científico, teórico e prático, sobre a importância, vantagens e desvantagens da utilização dos FIBRO na agricultura, visando proporcionar, assim, a mudança de paradigmas relativos à

destinação final destes concomitantemente a fertilização de solos agrícolas, uso de agrotóxicos e recuperação de áreas degradadas por atividades antrópicas, de forma que os resultados obtidos possam contribuir para o aumento da competitividade e sustentabilidade do setor de rochas ornamentais, com base na transferência de tecnologia.

Palavras-chave

Remineralizadores; condicionadores; fertilização; rochas ornamentais.

ABSTRACT

Ensuring the production of quality food and the necessary quantity is a global challenge. For this, conventional agriculture, or modern agriculture, makes use of fertilizers and correctives to increase agricultural production and productivity, to meet the demand for savings in naturally acidic and low fertility soils. The need for nutrient independence in the soil to maintain and increase agricultural production and productivity, therefore, leads to a greater demand for inputs, mainly nitrogen, phosphorus and potassium, essential elements and greater demand for crops. For this, it is necessary to import large quantities of soluble fertilizers, approximately 80% of the annual quantity needed, which makes Brazil highly dependent on inputs obtained by other countries. In this perspective, the world agricultural sector needs new alternatives for soil fertilization that are environmentally less aggressive, less costly and easily accessible to rural producers, such as rock formation, a technique that consists in the direct use of ground rocks as a way of improve soil fertility levels. To accelerate the solubilization of nutrients in the soil-plant system, studies in the rock area generally recommend maximizing the release of the chemical elements present in the rocks through the use of physical or biological treatments that promote their chemical solubilization. With the present proposal linked to the 'Cetem Desafios' program, the objective is to provide a scientific, theoretical and practical basis on the importance, advantages and disadvantages of using FIBRO in agriculture, to simplify, thus, providing a change in paradigms related to the destination end of these concurrently the fertilization of agricultural soils, use of pesticides and recovery of areas degraded by human

activities, so that the results obtained can affect the increase of the deficiency and sustainability of the ornamental stone sector, based on technology transfer.

Keywords

Remineralizers; conditioners; fertilization; dimension stones.

1 | INTRODUÇÃO

A produção agrícola brasileira possui destaque no cenário agrícola mundial, sendo o país o quarto maior produtor de alimentos, com representatividade de um quarto do Produto Interno Bruto (PIB) (IBGE, 2017; USDA, 2018).

A manutenção da produção e da produtividade das safras agrícolas nacionais estão diretamente relacionadas a fertilidade do solo e da planta, visto que constantemente torna-se necessária a reposição dos nutrientes retirados do solo. Essa reposição acarreta, então, uma maior demanda de insumos, sendo necessária a importação de grandes quantidades de fertilizantes solúveis, o que decorre em inúmeras consequências, tais como custos de produção elevados, perda de competitividade e vulnerabilidade diante de outros países (FONSECA, 2016; MATIAS, 2017; SANTOS; GLASS, 2018; WRITZL et al., 2019).

Nas condições brasileiras de agricultura tropical e subtropical, o uso de fertilizantes de alta solubilidade resulta em baixa eficiência de uso, mesmo quando empregado simultaneamente a um conjunto de práticas agrícolas em larga escala. Desta forma, a busca por fontes alternativas adquire grande importância para o futuro da produção agrícola brasileira (PÁDUA, 2012; FONSECA, 2016; BRITO et al., 2019).

Buscando solucionar as atuais demandas industriais e ambientais anteriormente expostas, a utilização de resíduos de rochas na agricultura, ricos em fósforo, potássio, cálcio e (ou) magnésio, dentre outros micronutrientes, pode melhorar as condições de fertilidade dos solos, sem afetar, contudo, o equilíbrio ambiental, sendo uma alternativa para a nutrição

vegetal. Essa técnica, conhecida como rochagem, pode ser definida como uma prática de rejuvenescimento para solos de baixa fertilidade (OLIVEIRA; QUEIRÓZ; RIBEIRO, 2010).

A utilização do pó de rocha como insumo agrícola, substituindo total ou parcialmente a utilização de fertilizantes químicos de alta solubilidade largamente utilizados na agricultura brasileira, é incentivado e regulamentado pelo Governo Federal, conforme Lei 12.890, de 10 de dezembro de 2013 (BRASIL, 2013), e poderá conduzir a uma nova revolução verde a partir da quebra de paradigmas relativos à fertilização dos solos agrícolas.

A rochagem não deve ser encarada apenas como um processo de produção de remineralizadores e fertilizadores do solo, mas sim como um processo de formação de solos (BRITO et al., 2019), o qual constituirá um dos seus grandes legados para as futuras gerações, a partir da construção de uma agricultura mais racional e sustentável.

Integrado por micro e pequenas empresas de lavra e beneficiamento, o setor de rochas ornamentais apresenta imprecisão no que se refere à determinação de dados quantitativos censitários no tocante a produção de resíduos ao longo de sua cadeia produtiva. O único grupo de informações mais confiáveis é aquele relativo às exportações e importações dessas rochas, pela natureza e individualização das operações realizadas.

O número total de lavras, contínuas e intermitentes, bem como sua produção anual, é estimado a partir de referências indiretas, e de certa forma fragmentadas, fornecidas diretamente por mineradores, Agência Nacional de Mineração (ANM) através dos Relatórios Anuais de Lavra (RAL),

recolhimento da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), agentes públicos diversos, prefeituras de municípios produtores, instituições acadêmicas e de pesquisa, sindicatos patronais, marmoristas, entidades setoriais, etc. A Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS) tem feito esse tipo de compilação e apresentado os dados anuais de produção, estimados como de 9,2 milhões de toneladas em 2019. A partir dessa produção estimada, pode-se chegar a quantitativos relacionados a rejeitos da lavra, beneficiamento primário e acabamento, os quais são, de maneira geral, utilizados por pesquisadores e publicações do setor de rochas ornamentais.

As perdas na lavra incluem estéril (capeamento de solo e rochas alteradas) e o rejeito da própria rocha lavrada, ambos na forma de fragmentos irregulares. As perdas do beneficiamento primário incluem o fino da serragem (principal), além de casqueiros (laterais dos blocos), pedaços de chapas quebradas e retalhos do esquadrejamento das chapas. O resíduo das marmorarias inclui o fino de recorte das chapas e pedaços da própria chapa recortada, mas não aproveitados.

Para lavra, deve-se assumir uma recuperação média de 40% do total do desmonte bruto. Logo, para uma produção de 9,2 milhões t seriam assim lavrados 23 milhões t ($9,2 \text{ milhões} \div 0,40$) gerados, dos quais 13,8 milhões t de rejeitos ($23 \text{ milhões} \times 0,60$). No processamento primário (serrarias etc.), admite-se uma perda de 41% do total processado. Considerando-se que, aproximadamente, 1 milhão t da produção de lavra (9,2 milhões t) são exportados como rocha bruta (blocos), estima-se que o resíduo/rejeito do processamento atinja 3,4 milhões t do processamento primário $[(9,2 - 1,0) \times 0,41]$.

O total de rochas processadas semiacabadas (chapas) destinado às marmorarias soma, aproximadamente, 3,6 milhões t em 2019 (8,2 milhões t - 41%) - 1,2 milhões t, corresponde ao volume físico exportado desse produto, não destinados para acabamento nas marmorarias brasileiras. Com uma perda de 20% em finos e aparas nas marmorarias, os resíduos a ela relacionados totalizariam cerca de 0,7 milhão t ($3,6 \times 0,2$).

A título de ilustração, tem-se assim o seguinte cenário de geração de resíduos para o ano de 2019:

- 13,8 milhões t de rejeitos da lavra;
- 3,4 milhões t de rejeitos/resíduos do beneficiamento primário;
- 0,7 milhão t de rejeitos/resíduos das marmorarias;
- Aproximadamente 18 milhões t de rejeitos de lavra, beneficiamento primário e marmoraria.

Para o setor de rochas nacional, são evidentes a sinergia e oportunidades de negócio com a utilização dos resíduos industriais na agricultura. No Brasil, quarto maior país produtor de rochas ornamentais, com destaque para o estado do Espírito Santo, responsável por mais de 80% das exportações brasileiras (IDEIES, 2016; ABIROCHAS, 2018) e detentor do maior arranjo produtivo de rochas nacional (BRIZ, 2020; FINDES, 2020), a rochagem deve ser considerada como uma alternativa real, necessária e viável em virtude da ampla geodiversidade existente no país, além de ser atribuída a vantagem sobre o aspecto social e ambiental, pois dá a destinação final adequada aos rejeitos de pedreiras e

mineradoras (ASSIS, 2015), os quais denominaremos neste material de Finos da Indústria de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (FIBRO).

Assim, a partir do exposto, o processo de rochagem tem a capacidade de consumir grandes volumes de FIBRO produzidos e acumulados pelo setor de rochas, transformando o problema deste subproduto em uma grande oportunidade para a sustentabilidade e credenciamento socioeconômico do setor. Portanto, com a presente proposta vinculada ao programa 'Cetem Desafios', objetiva-se proporcionar um embasamento científico, teórico e prático, sobre a importância, vantagens e desvantagens da utilização dos FIBRO na agricultura e, também, discorrer sobre as diferentes técnicas de liberação dos nutrientes destes subprodutos para o solo, visando proporcionar, assim, a mudança de paradigmas relativos à destinação final destes concomitantemente a fertilização de solos agrícolas, uso de agrotóxicos e recuperação de áreas degradadas por atividades antrópicas, de forma que os resultados obtidos possam contribuir para o aumento da competitividade e sustentabilidade do setor de rochas ornamentais, com base na transferência de tecnologia.

2 | CETEM DESAFIOS

De forma pioneira no Brasil, o programa ‘Cetem Desafios’, lançado a partir do ‘Edital Cetem 2019’, é uma proposta de inovação aberta em sentido inverso (“*problemsourcing*”), pelo qual as empresas do setor de rochas ornamentais foram convidadas a apresentar seus problemas e desafios tecnológicos.

Foram contempladas quatro propostas nas áreas de (i) lavra; (ii) beneficiamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais; (iii) estudos de melhorias nos processos de beneficiamento e desenvolvimento de insumos; e (iv) determinação das propriedades tecnológicas e estudos de alterabilidade de rochas ornamentais.

Com a iniciativa proposta objetiva-se o aumento da competitividade e sustentabilidade do setor de rochas ornamentais a partir da produção de resultados tangíveis para o setor, com base na transferência de tecnologia aos participantes selecionados pelo Edital.

2.1 | Utilização de Rochas Ornamentais Ricas em Minerais Potássicos como Fonte Alternativa de Insumo Agrícola via Rochagem.

Dentre os diferentes desafios tecnológicos aprovados pelo ‘Programa Cetem Desafios’, a proposta intitulada “Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem”, conta com a parceria da Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS (empresa/instituição contemplada) e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito

Santo – FAPES, está vinculada a área de “beneficiamento e aproveitamento de resíduos de rochas ornamentais”, conforme edital.

Como objetivo central da presente proposta, pretende-se avaliar a utilização de diferentes microrganismos como aceleradores da liberação de potássio de rochas ornamentais em solo submetido ao processo de rochagem.

Especificamente, objetiva-se: (i) definir os litotipos a serem estudados na pesquisa, com ênfase na quantidade de feldspatos potássicos e realizar análises petrográficas, químicas e mineralógicas; (ii) definir as granulometrias de cada um dos FIBRO analisados; (iii) caracterizar os principais nutrientes que compõe cada um dos diferentes FIBRO; (iv) avaliar o uso dos diferentes FIBRO nas características físicas e químicas do solo submetido ao processo de incubação; (v) avaliar o uso de diferentes microrganismos como aceleradores da liberação de potássio de FIBRO em solos submetidos ao processo de incubação; (vi) definir qual(is) a(s) melhor(es) relação(ões) existente(s) entre FIBRO e microrganismos na disponibilização de potássio; (vii) estimar o tempo de liberação dos principais nutrientes que compõe os diferentes FIBRO; (viii) avaliar a viabilidade de utilização de FIBRO, ricos em minerais potássicos, associados a diferentes microrganismos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem; (ix) determinar as concentrações de FIBRO mais eficientes na substituição parcial ou total aos fertilizantes minerais comerciais utilizados para o desenvolvimento de culturas de interesse econômico e; (x) disponibilizar os dados e as informações obtidas através de publicações (artigos científicos, resumos de eventos, livros, capítulos de livros, palestras, etc.).

Visando uma melhor descrição dos objetivos propostos, este material foi dividido em duas partes, sendo a primeira destinada a contextualização teórica de processo de rochagem e das rochas selecionadas e, a segunda, destinada a caracterização do material e métodos utilizados para a efetiva execução da proposta e discussão dos principais resultados obtidos.

3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 | Aspectos Econômicos da Produção Agrícola Brasileira

O Brasil, nas últimas quatro décadas, expandiu a produção agrícola, passando da condição de importador para exportador de alimentos. Quarto maior produtor mundial de alimentos do mundo, a produção agrícola brasileira concentra-se em 63 milhões de hectares, com previsão de expansão para 71 milhões até a safra de 2027/2028, impulsionada principalmente pela produção de grãos (USDA, 2018; CONAB, 2019; IBGE, 2020).

No mesmo período, enquanto a área ocupada pela agricultura brasileira aumentou 33%, a produção agrícola nacional aumentou aproximadamente 368%, o que significa que o País produziu mais sem aumentar proporcionalmente a área cultivada, fato decorrente do uso intensivo do conhecimento e da modernização tecnológica (FILHO, 2016).

As relações existentes entre produção e produtividade estão entre os indicadores mais representativos da recente expansão agrícola nacional. Entre os anos de 1975 e 2017, a produção de grãos passou de 38 milhões de toneladas para 236 milhões toneladas, o que corresponde a um aumento de aproximadamente 674%, enquanto a área cultivada para esta finalidade dobrou (EMBRAPA, 2018).

Garantir a produção de alimentos de qualidade e em quantidade necessárias é um desafio global (ASSAD et al., 2019). Para isso, a agricultura convencional, ou agricultura moderna, faz uso de fertilizantes e corretivos com o objetivo de

proporcionar o aumento da produção e da produtividade agrícola, de modo a atender as demandas econômicas em solos naturalmente ácidos e com baixa fertilidade (COLA; SIMÃO, 2012; PEIXOTO, 2019; SOUZA, 2019; ALOVISI et al., 2020).

Diante desta realidade, elevadas quantidades de fertilizantes minerais de alta solubilidade são utilizados todos os anos nas áreas agrícolas nacionais, sendo a maioria destes importados, o que torna o Brasil altamente dependente de insumos produzidos por outros países (SOUZA, 2019).

3.2 | O Uso de Fertilizantes na Agricultura Brasileira

Conforme mencionado anteriormente, o Brasil dispõe de elevado potencial agrícola, entretanto grande parte dos solos existentes possuem elevada acidez e baixa fertilidade natural (PEIXOTO, 2019).

Nas condições brasileiras de agricultura tropical e subtropical, o uso de fertilizantes de alta solubilidade resulta em baixa eficiência de uso, mesmo quando empregado simultaneamente a um conjunto de práticas agrícolas (sistema de plantio direto, cobertura do solo, plantas eficientes no uso de nutrientes, agricultura de precisão, dentre outros) em larga escala (PÁDUA, 2012; FONSECA, 2016; BRITO et al., 2019).

A necessidade de reposição de nutrientes no solo para a manutenção e (ou) aumento da produção e da produtividade agrícola acarreta, então, uma maior demanda de insumos, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, elementos essenciais e de maior exigência pelas culturas. Para isso, torna-se necessária a importação de grandes quantidades de

fertilizantes solúveis, aproximadamente 80% do quantitativo necessário anual (FONSECA, 2016; MATIAS, 2017; SANTOS; GLASS, 2018; SOUZA, 2019; WRITZL et al., 2019).

Nessa perspectiva e considerando que o Brasil é um dos principais produtores de alimentos do mundo, o uso de fertilizantes minerais vem sendo intensificado com o objetivo de aumentar a produtividade das lavouras (RAMOS et al., 2015). No Brasil, quarto maior país consumidor de fertilizantes do mundo (BRITO et al., 2019), as importações em 2019 somaram 29,5 milhões de toneladas, crescimento de 7,3% quando comparado ao ano de 2018 (ANDA, 2020).

Para o ano de 2020, estima-se patamar recorde de importações, as quais serão de 36,6 milhões de toneladas, alta de 1% quando comparado ao ano de 2019. Apenas no mês de janeiro de 2020 foi registrado aumento de 10,3% nas importações em relação ao mesmo mês de 2019 (ANDA, 2020).

Desta forma, a busca por fontes de nutrientes alternativas multielementares adquire grande importância para o futuro da produção agrícola brasileira, de forma mais sustentável, com maior viabilidade e menor impacto ao meio ambiente (PÁDUA, 2012; FONSECA, 2016; BRITO et al., 2019). Estudos referentes ao uso de FIBRO na agricultura como fonte alternativa de insumos agrícolas, sejam estes materiais corretivos ou fontes de nutrientes, são atualmente necessários e se adequam ao contexto proposto, conforme será apresentado a seguir.

3.3 | O Uso da Rochagem na Remineralização dos Solos

A agricultura, com base nas exigências sociais e dentro dos princípios da sustentabilidade, busca alternativas por produtos que contribuam para a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (COSTA; ADAMS; BONO, 2019), a partir da modernização dos conceitos e práticas atualmente exercidas, as quais baseiam-se na utilização de fertilizantes minerais altamente solúveis e de elevada dependência externa.

Nessa perspectiva, o setor agrícola mundial necessita de novas alternativas de fertilização de solos que sejam ambientalmente menos agressivos, de menor custo e de fácil acesso aos produtores rurais (EMBRAPA, 2016; SOUZA, 2019), como a exemplo da rochagem, técnica que consiste no uso direto de rochas moídas, também conhecido como pós de rochas ou remineralizadores, como forma de melhorar os níveis de fertilidade dos solos (MALAVOLTA, 2008; PÁDUA, 2012; ALOVISI et al., 2020).

Considerada como uma técnica promissora para a redução da dependência da importação de matéria-prima para a formulação de fertilizantes agrícolas, os remineralizadores foram reconhecidos e inseridos na legislação brasileira a partir da Lei Nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013 (BRASIL, 2013), a qual altera a Lei Nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (BRASIL, 1980), sendo definidos como “material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo” (BRASIL, 2013).

A técnica da rochagem não é uma prática agrícola recente, sendo utilizada a décadas principalmente a partir da aplicação de calcário diretamente ao solo (THEODORO, 2000; LINS et al., 2010; COLA; SIMÃO, 2012; SOUZA, 2019). Entretanto, esta prática tornou-se mais popularmente conhecida após sua inclusão na legislação brasileira, sendo posteriormente estabelecidas as regras, classificações, especificações, garantias, níveis de tolerância de contaminantes e normativas específicas para o registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores, a partir da Instrução Normativa N° 5, de 10 de março de 2016 (BRASIL, 2016), complementar a Lei N° 12.890, de 10 de dezembro de 2013.

Considerada como uma eficiente alternativa para a agricultura brasileira, uma vez que o país possui grande geodiversidade, o uso agrônomico dos subprodutos de pedreiras e indústrias de beneficiamento de rochas é recomendado, um vez que viabiliza o uso de diferentes rochas, em diferentes regiões, como fonte complementar de nutrientes para o solo e para as plantas, dentro de padrões mais sustentáveis (THEODORO, 2000; BERGMANN; HOFF; THEODORO, 2009; COLA; SIMÃO, 2012). Vale ressaltar que, no ano de 2019, o Brasil exportou mais de um bilhão de dólares em rochas ornamentais, o que demonstra o potencial produtivo brasileiro neste segmento comercial (ABIROCHAS, 2020) e, conseqüentemente, o potencial de geração de subprodutos oriundas desta atividade.

Na indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, os principais subprodutos produzidos são blocos fora do padrão, irregulares, defeituosos, pedaços de blocos, lascas de rochas e casqueiros, todos classificados como subprodutos grossos (> 2mm). Os subprodutos finos (2-0,075 mm) e ultrafinos (<0,075) são gerados como efluentes, denominados de lama

abrasiva ou lama do beneficiamento de rochas ornamentais, produzida durante a serragem de blocos para a fabricação de chapas de revestimentos (CHIODI FILHO, 2004; CAMPO et al., 2013).

O uso dos subprodutos da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais na agricultura como remineralizadores do solo, principalmente os subprodutos grossos, vai de encontro à Economia Circular, que visa, dentre outros, a produção de novos produtos sem a geração de resíduos, o uso de fontes renováveis, o redesenho de processos e produtos e a utilização cíclica de produtos e materiais por meio da manutenção, reuso, remanufatura, reciclagem e regeneração.

Embora forneçam menos nutrientes a curto prazo quando comparados aos fertilizantes minerais industriais, os remineralizadores possuem poder residual no solo (RESENDE et al., 2006; SÉKULA, 2011; ALOVISI et al., 2020) e são capazes de fornecer nutrientes, principalmente fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes, por um período de até cinco anos após a sua incorporação ao solo em aplicação única, conforme observado por (THEODORO; LEONARDOS, 2006; NOVELINO et al., 2008; MARTINS et al., 2015; MYRVANG et al., 2016; SOUZA, 2019; ZHAO et al., 2019). A característica residual dos remineralizadores é considerada desejável visto proporcionar menor risco de perda por lixiviação e adsorção quando comparado aos fertilizantes industriais, de alta solubilidade (NUNES; KAUTZMANN; OLIVEIRA, 2014).

Além do efeito residual dos remineralizadores, sua utilização e valorização como técnica alternativa de fertilização dos solos corrobora com (i) a atual necessidade de redução das

importações de fertilizantes químicos, com consequente redução dos custos de produção e dependência externa; (ii) a necessidade do aproveitamento dos subprodutos das atividades de exploração e beneficiamento mineral, com redução dos impactos diretos ao meio ambiente e; (iii) a moderna expansão dos cultivos agrícolas baseados em conceitos mais sustentáveis, agroecológicos, a partir do uso restrito de fertilizantes de alta solubilidade (CARVALHO, 2013; SILVA et al., 2019).

Outras vantagens do uso dos remineralizadores são: (i) aumento da capacidade de troca de cátions do solo (HARLEY; GILKES, 2000; SILVA, 2013); (ii) redução da adsorção de fósforo devido a riqueza em silicatos (HARLEY; GILKES, 2000; SILVA, 2013); (iii) disponibilização de macro e micronutrientes (HARLEY; GILKES, 2000; SILVA, 2013; SOUZA; SCHNEIDER, 2015; SILVA et al., 2019; ALOVISI et al., 2020); (iv) disponibilização de nutrientes não presentes em fertilizantes solúveis (VAN STRAATEN, 2006; DIAS et al., 2007; NOVELINO et al., 2008; PINHEIRO et al., 2008; SOUZA, 2019; ALOVISI et al., 2020); (v) aplicações com menor impacto ambiental (VAN STRAATEN, 2006); (vi) incremento na produtividade das lavouras (THEODORO; LEONARDOS, 2006; BATISTA, 2013; COSTA; ADAMS; BONO, 2019; SILVA et al., 2019) e; (vii) aumento do pH do solo (THEODORO; LEONARDOS, 2006; DIAS et al., 2007; NOVELINO et al., 2008; PINHEIRO et al., 2008; SILVA et al., 2012; BATISTA, 2013; ALOVISI et al., 2020).

Para uma maior eficiência no uso desta tecnologia de fertilização, torna-se essencial a combinação mineralógica e geoquímica da rocha selecionada com as exigências nutricionais dos solos e das plantas (SOUZA, 2014).

As diferentes composições das rochas proporcionam a disponibilidade de diferentes nutrientes a curto, médio e longo prazo (DUARTE et al., 2013).

Entretanto, apesar dos benefícios decorrentes do uso da rochagem na agricultura, a baixa solubilidade dos nutrientes que compõe as rochas é, hoje, um dos principais entraves para a sua efetiva utilização à campo. Diante deste cenário, fica evidente a necessidade de estudos que preconizem a aceleração da solubilização dos nutrientes presentes nas rochas sem que haja aumentos significativos nos custos para sua utilização e, também, que esteja em consonância ao que preconiza a legislação brasileira.

3.4 | Solubilização dos Nutrientes Minerais no Processo de Rochagem

De modo geral, a solubilização e disponibilização de nutrientes presentes nas rochas para o sistema solo-planta é mais lenta quando comparada aos fertilizantes solúveis comumente utilizados na agricultura. Porém, este fato é compensado por uma oferta diversificada de nutrientes e a longo prazo, uma vez que os nutrientes são liberados de forma mais lenta a partir da ação do intemperismo (COLA; SIMÃO, 2012; THEODORO et al., 2012).

Com o objetivo de acelerar a solubilização dos nutrientes, estudos na área de rochagem geralmente preconizam maximizar a liberação dos elementos químicos presentes nas rochas a partir da utilização de tratamentos físicos, químicos e (ou) biológicos que promovam a sua solubilização, acelerando

o processo de liberação dos nutrientes no sistema solo-planta (MARTINS; MARTINS; REATTO, 2004; LOPES-ASSAD et al., 2006; LIMA et al., 2007).

O processo mais utilizado para promover a aceleração da solubilização dos nutrientes é a cominuição das rochas, considerado ainda como etapa inicial e indispensável para a prática da rochagem. Com o uso de finas granulometrias, maior será a superfície de contato do material exposto e, conseqüentemente, maior será a liberação de nutrientes. Entretanto, quanto mais fina for a granulometria empregada no processo, maior será a demanda energética (SOUZA; SCHNEIDER, 2015) e maior serão os custos para sua utilização.

Em experimentos conduzidos por Machado et al. (2016), com o objetivo de caracterização de resíduos de rochas ornamentais na liberação de potássio via aplicação de ácidos orgânicos (cítrico e málico), os autores relatam que houve liberação parcial do K presente nas rochas, reforçando o papel dos ácidos orgânicos no intemperismo dos minerais e no fornecimento de K ao sistema solo-planta. Os resultados obtidos nesta pesquisa corroboram com relatos de Theodoro (2000), Almeida, Silva e Ralisch (2006), Guarçoni e Fanton (2011) e Basak (2019), para pesquisas com tufo vulcânico, basaltos, granitos e mica, respectivamente. A acidificação parcial das rochas é um método químico que constitui uma alternativa para a solubilização do material e conseqüente disponibilização dos nutrientes no sistema solo-planta (COLA; SIMÃO, 2012).

Da mesma forma, o uso de microrganismos, principalmente fungos e bactérias, podem ser utilizados no processo de solubilização de rochas. Isso ocorre, dentre outros, devido a

formação de diversos complexos entre os microrganismos e os minerais, os quais podem facilitar o contato entre as células microbianas e os cristais minerais, aumentando a superfície de contato e proporcionando maior reação dos agentes intemperizadores (LIAN et al., 2002). Ácidos orgânicos (exsudatos) liberados pelos microrganismos e pelas plantas também auxiliam no processo de solubilização (HARLEY; GILKES, 2000). Alguns autores sugerem ainda que ligantes orgânicos menores podem forçar o espaçamento entre camadas rochosas, expulsando os nutrientes aderidos (LIAN et al., 2002).

A exemplo de tratamentos biológicos, o fungo *Aspergillus fumigatus* foi incorporado a minerais portadores de potássio com o objetivo de determinar se as interações microrganismos-minerais aumentam a liberação do nutriente no sistema solo-planta. Neste estudo, Lian et al. (2008) relatam que *A. fumigatus* promoveu a liberação de potássio, com dependência positiva do pH do meio.

Dentre outros trabalhos que preconizam o uso de microrganismos fúngicos na solubilização dos nutrientes das rochas para o sistema solo-planta, cita-se o uso de: diversas espécies de Micorrizas como, *Glomus intraradices* e *Glomus mosseae* (CLARCK; ZETO, 1996; CLARCK; ZOBEL; ZETO, 1999; CLARCK; ZETO, 2000; WU et al., 2005; ALVES; OLIVEIRA; FILHO, 2010; VERESOGLOU; MAMOLOS; THORNTON, 2011; YOUSEFI et al., 2011), *Aspergillus terreus* e *Aspergillus* spp. (PRAJAPATI; MODI, 2012; PRAJAPATI; SHARMA; MODI, 2013), *Aspergillus niger* (MIRMINACHI; ZHANG; ROEHR, 2002; PRAJAPATI; MODI, 2012); *Penicillium* spp. (SANGEETH; BHAI; SRINIVASAN, 2012).

Da mesma forma, nos últimos anos, pesquisas voltadas a liberação de nutrientes das rochas a partir da incorporação de bactérias vem sendo desenvolvidas para os mais diversos sistemas microrganismo-solo-planta, com resultados promissores. Dentre estes: *Bacillus mucilaginosus* (ZHAO; SHENG; HUANG, 2008; RAJAWAT et al., 2012; ZARJANI et al., 2013; ZHANG; KONG, 2014), *Bacillus edaphicus* (SHENG; HUANG, 2002; SHENG; HE, 2006; ZHAO; SHENG; HUANG, 2008; RAJAWAT et al., 2012), *Bacillus circulans* (LIAN et al., 2002), *Burkholderia* (UROZ et al., 2007; ZHANG; KONG, 2014), *Acidithiobacillus ferrooxidans* (ZHANG; KONG, 2014), *Arthrobacter* spp. (ZARJANI et al., 2013), *Enterobacter hormaechei* (PRAJAPATI; SHARMA; MODI, 2013), *Paenibacillus mucilaginosus* (HU; CHEN; GUO, 2006; LIU; LIAN; DONG, 2012), *Paenibacillus frequentans*, *Cladosporium* (ARGELIS et al., 1993), *Aminobacter* (UROZ et al., 2007), *Sphingomonas*, (UROZ et al., 2007) e *Paenibacillus glucanolyticus* (SANGEETH; BHAI; SRINIVASAN, 2012).

O conhecimento dos mecanismos de solubilização dos minerais presentes nas rochas contribui para sua utilização mais eficiente e racional dentro dos sistemas agrícolas. Entretanto, a solubilização e liberação dos nutrientes é dependente da relação simultânea de diversas variáveis, como a composição química e mineralógica (OSTERROHT, 2003), granulometria, condições de lixiviação, pH do solo, atividade biológica (MARTINS; MARTINS; REATTO, 2004), temperatura, precipitação, oxirredução (HARLEY; GILKES, 2000), tempo de exposição ao meio, relação solo-planta, entre outras (OSTERROHT, 2003; ALOVISI et al., 2020).

Vale ressaltar que alguns dos processos físicos e químicos utilizados na tentativa de acelerar a liberação de nutrientes podem, em alguns casos, divergir com o previsto na legislação, inviabilizando o uso do mineral como remineralizador dentro do processo de rochagem. Da mesma forma, resultados satisfatórios já obtidos a partir da incorporação de diferentes microrganismos aos remineralizadores contrastam com os riscos a saúde humana e (ou) vegetal inerentes a utilização destes microrganismos.

4 | CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA E ANÁLISE PETROGRÁFICA DAS ROCHAS SELECIONADAS PARA A PRESENTE PROPOSTA

Para a execução da presente proposta, os FIBRO foram obtidos de rochas previamente selecionadas em função do teor de potássio e da sua distribuição geográfica, de modo a abranger as diferentes regiões brasileiras, sendo estas: (i) Marrom Guaíba (9,69% de K_2O) (STABEL et al., 2001) – município de Cachoeira do Sul/RS; (ii) Café Bahia (4,83% de K_2O) (TORRES, 2013) – município de Itarantim/BA; (iii) Café Imperial (9,20% de K_2O) (SILVA, 2007) – município de Santa Rita de Caldas/MG; e (iv) Ocre Itabira (valor de K_2O a ser definido) – município de Venda Nova do Imigrante/ES.

A contextualização geológica e a análise petrográfica das rochas selecionadas para execução da presente proposta estão descritas a seguir.

4.1 | Marrom Guaíba

A rocha ornamental Marrom Guaíba está inserida geologicamente no contexto do Escudo Sul-rio-grandense, que é resultado de dois ciclos orogênicos, Transamazônico (2,6 - 2,0 Ga) e Brasileiro (900 - 535 Ma). O ciclo Brasileiro foi responsável pela construção do Cinturão Dom Feliciano, que compreende três eventos tectônicos principais: início da atividade de subducção, marcada pelo metadiorito Passinho (800 Ma); Orogênese São Gabriel, que é o evento de desenvolvimento do arco magmático do Terreno São Gabriel (753-680 Ma) e a Orogênese Dom Feliciano, que representa a fusão dos remanescentes crustais antigos presentes no Batólito Pelotas seguido da intrusão de granitos sin-, tardi- e pós-

colisionais (HARTMANN et al. 1999, 2000, 2007a apud SBARAINI, 2012). O Batólito Pelotas está localizado na porção leste do Escudo Sul-rio-grandense e é formado por complexos graníticos brasileiros e por sete suítes graníticas, dentre elas, o Maciço Sienítico Piquirí (~ 611 Ma) (HARTMANN et al., 2007 apud SIMÕES, 2012).

O Maciço está relacionado ao magmatismo shoshonítico, denominado Associação Shoshonítica de Lavras do Sul (NARDI e LIMA, 1985) apud Stabel et al. (2001), gerado nas fases iniciais do Batólito Pelotas (PHILIPP et al. 2002). Tal intrusão causou metamorfismo de contato nas rochas encaixantes, sendo elas, gnaisses e sienitos sin-tectônicos à E/NE e xistos pelíticos e quartzitos do Complexo Metamórfico Porongos à norte. À oeste o maciço limita-se por falhas NE-SW e NW-SE, que o separam de ritmitos areno-pelíticos e conglomerados, contendo clastos do próprio maciço e a S/SE é intrudido pelo Complexo Granítico Encruzilhada do Sul, dando origem à forma semicircular do maciço ou forma de ferradura (Figura 1), segundo Jost et al. (1985) apud Rivera (2019). O maciço sienítico Piquirí possui uma área de aproximadamente 130 km² e é constituído predominantemente por álcali sienitos, álcali quartzo sienitos e álcali granitos, com granulação fina nas bordas do maciço e mais grossas em direção ao seu núcleo. O corpo possui estrutura de fluxo magmático marcada pela orientação dos feldspatos, minerais máficos e enclaves máficos micro granulares (VIEIRA Jr et al. (1989) apud STABEL et al. (2001). As rochas de textura equigranular apresentam estrutura maciça. Nas bordas do maciço predominam sienitos com texturas poiquiliticas definidas pelo feldspato alcalino, diopsídio e anfibólios contendo principalmente apatita, plagioclásio e zircão.

No núcleo da intrusão predominam feldspatos alcalinos fortemente perfiticos (STABEL et al. 2001).

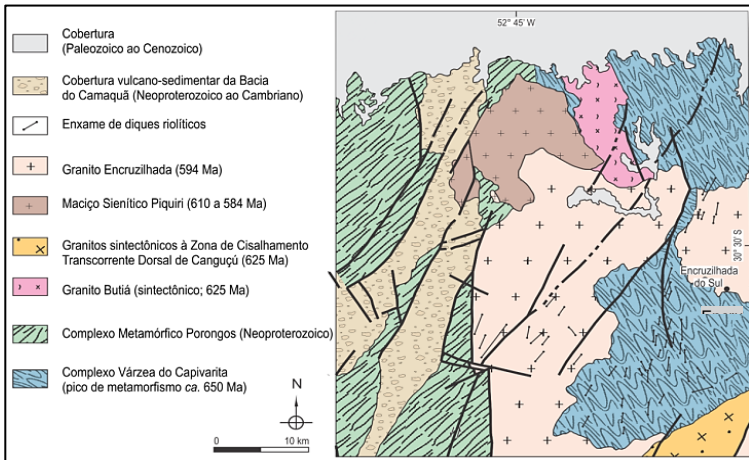


Figura 1. Recorte do mapa geológico da região de ocorrência do Máscio Sienítico Piquiri. Modificado de Rivera (2019).

4.1.1 | Análise Petrográfica

A rocha refere-se a um álcali sienito com quartzo de cor marrom, estrutura maciça (Figura 2) e texturalmente é definida como fanerítica, inequigranular seriada, com granulação variando de média (1 a 5 mm) a grossa (5 a 10 mm). Mineralogicamente é composta por feldspato potássico e piroxênio e/ou anfibólio. Os cristais de feldspato potássico possuem cor marrom, granulação grossa, brilho vítreo a nacarado, hábito tabular e são subédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de piroxênio e/ou anfibólio possuem cor verde escura a preta, granulação média, brilho vítreo, hábito prismático e são subédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos.



Figura 2. Rocha Marrom Guaíba. Fonte: Coloretti Basaltos e Granitos, 2018.

Microscopicamente, a rocha é holocristalina, possui superfícies de contato mineral variando de planar a irregular, apresenta um moderado grau de alteração, sendo observados processos de sericitização, carbonatação de feldspatos, alteração de piroxênios e impregnação de óxido/hidróxido de ferro em microfissuras. O estado microfissural da rocha é alto, exibindo microfissuras dos tipos intra e intergranulares preenchidas por argilominerais e óxido/hidróxido de ferro. Compõe-se por ortoclásio perfitico (77%), piroxênio (aegirina-augita) (14%), quartzo (4%), opacos (3%), titanita (2%), biotita (tr), apatita (tr) e epidoto (tr). Os cristais de ortoclásio são subédricos a anédricos, exibem textura perfitica e é comum geminação segundo a lei Carlsbad (Figura 3A), possuem inclusões de piroxênio e minerais opacos, apresentam superfícies de contato

principalmente planar entre os grãos, processos iniciais de triclinização (Figura 3B), exibindo macla Tartan (em xadrez) nas bordas, sericitização (Figura 3C) e caulinitização (Figura 3D). O grau de microfissuramento é elevado, ocorrendo microfissuras intra e intergranulares. As microfissuras intragranulares são de dois tipos, trincas e planos de clivagem. As primeiras encontram-se preenchidas por material ferruginoso (óxido e/ou hidróxido de ferro) e argilominerais (Figura 3E) e as segundas encontram-se impregnadas por finos cristais avermelhados, indicando material ferruginoso (Figura 3F). Os cristais de aegirina-augita são subédricos a anédricos (sem faces definidas), exibem superfícies de contato predominantemente planar entre os grãos e microfissuras intragranulares sem preenchimento. Observam-se cristais em processo de alteração para epidoto, titanita, biotita, minerais opacos, carbonato e bordas de alteração para argilominerais e cristais zonados, exibindo bordas mais escuras que o núcleo. Geralmente ocorrem com textura poiquilítica, exibindo inclusões de apatita, opacos, biotita, titanita e epidoto. Os cristais de quartzo ocorrem preenchendo microfissuras intercristalinas, são anédricos, exibem extinção ondulante e superfícies de contato predominantemente planar entre os grãos. Os cristais de titanita são anédricos a subédricos, exibem superfícies de contato planar entre os grãos, microfissuras intracristalinas sem preenchimento e possuem inclusões de apatita e minerais opacos. Os cristais de biotita ocorrem associados e/ou como alteração de clinopiroxênios, são subédricos, possuem hábito lamelar, extinção mosqueada e exibem superfícies de contato planar entre os grãos. Os minerais opacos são anédricos e ocorrem como alteração de clinopiroxênios e titanita (Figura 3G).

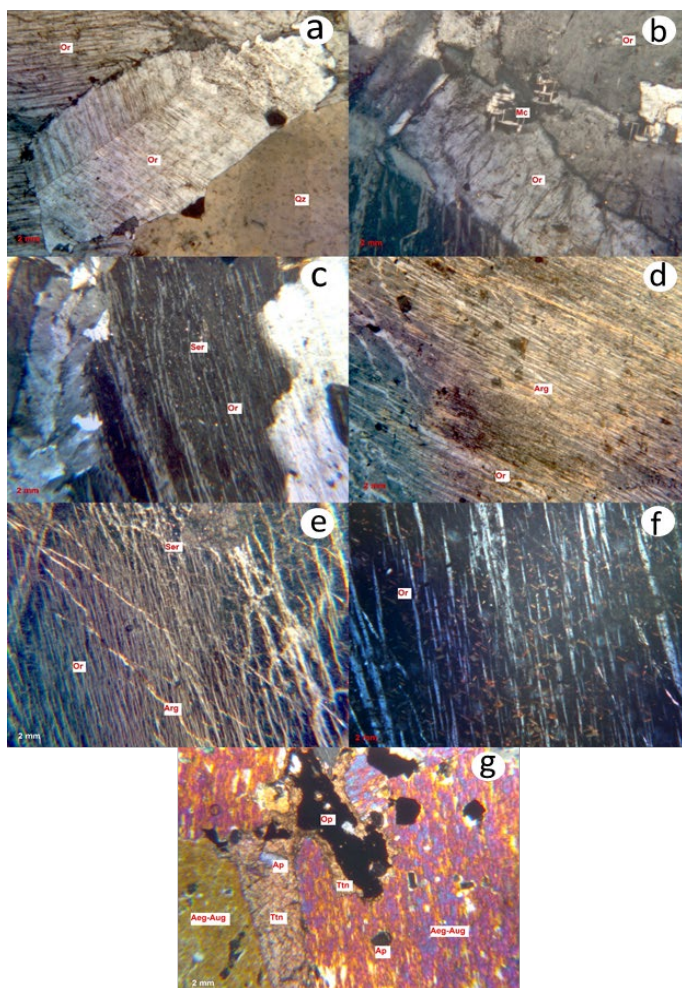


Figura 3. Fotomicrografias da lâmina delgada da rocha Marrom Guaíba com polarizadores cruzados e lentes objetivas de 2,5x (C,E,G), 5x (A,B,D) e 10x (F) de aumento. Abreviaturas dos nomes de minerais segundo Whitney e Evans (2010).

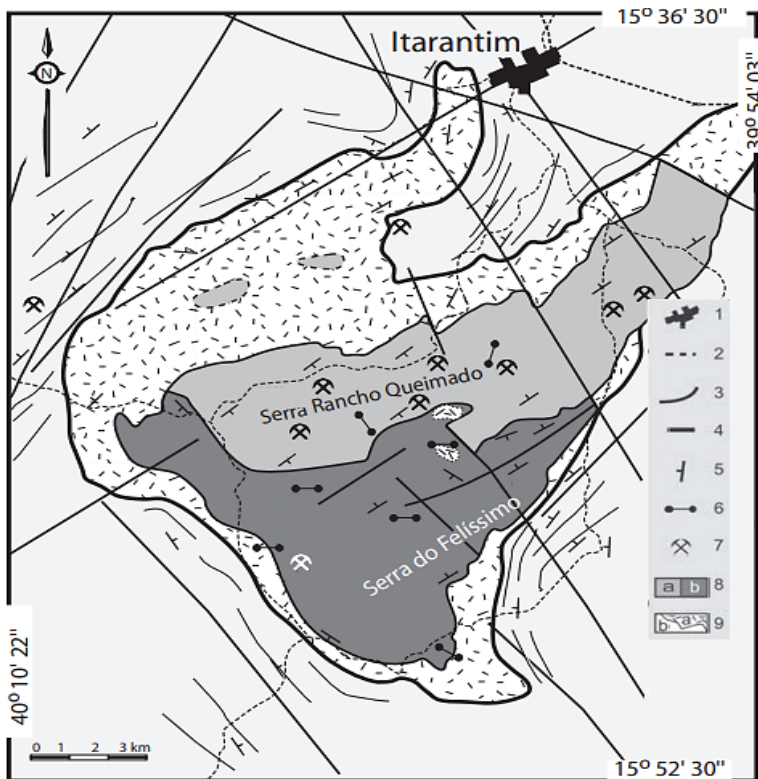
4.2 | Café Bahia

A rocha Café Bahia se insere geologicamente no contexto da Província Alcalina do sul do Estado da Bahia (PASEBA), que se enquadra na porção sul do Cráton São Francisco. Tem como embasamento rochas arqueano-paleoproterozóicas e mesoproterozóicas e possui a porção sudoeste afetada pela tectônica neoproterozóica, com ocorrência de magmatismo alcalino e sedimentação (LOPES NETO, 2007).

O embasamento da PASEBA é constituído de duas unidades distintas que são separadas pela falha Planalto-Potiraguá. Na porção nordeste, encontram-se terrenos pertencentes ao Cinturão Itabuna (MARTINS e SANTOS, 1997 apud ROSA et al., 2005), que é formado por rochas granulíticas de composição predominantemente intermediária à ácida, intensamente deformadas. Já na parte sudoeste encontra-se o Complexo Caraíba-Paramirim, constituído por terrenos gnáissico-migmatíticos (ROSA et al., 2005).

Regiões do embasamento mostram uma série de lineamentos, dentre eles, uma zona com duas grandes falhas subparalelas, de direção NE-SW, denominada Lineamento Itarantim, que segundo Mantesso-Neto (2004) foi o facilitador para a intrusão alcalina do neoproterozoico. Aproximadamente vinte maciços alcalinos integram a PASEBA, sendo os principais Itarantim, Itabuna, Floresta Azul e Serra das Araras, além de diques constituídos por sienitos, nefelina sienitos, anfibólio-nefelina-sienitos, sodalita-sienitos e rochas hipoabissais do tipo tinguafitos (LOPES NETO, Op. Cit.). Os corpos alcalinos encontram-se regionalmente alinhados segundo a direção NE-SW, concordante com o Lineamento Itarantim. O maciço Itarantim, conhecido como Batólito Nefelina-Sienítico de

Itarantim (Figura 4), constitui-se por três fácies principais, a saber: Serra rancho Queimado, que está situada a norte e é composta por sienitos com nefelina, de cor marrom escura, reflexo da coloração do feldspato alcalino, com pontuações de cor verde limão presentes correspondem a cristais de nefelina; Serra do Felíssimo, situada a sul (OLIVEIRA, 2003 apud LOPES NETO, 2007.), compõe-se por sienitos alcalinos com nefelina de coloração clara, freqüentemente branca, textura fanerítica média e com fluxo magmático menos expressivo que na fácies Rancho Queimado. E a terceira fácies, situada na porção noroeste, é de origem metassomática (fenitos) e reúne as rochas ígneas do Batólito.



Fonte: Modificado de Lopes Neto, 2007.

Figura 4. Mapa geológico simplificado do Batólito Nefelina Sienítico Itarantim. 1- Cidade; 2- Estradas ou caminhos carroçáveis; 3- Contatos litológicos; 4- Falhas ou fraturas; 5- Atitude de foliação; 6- Diques; 7- Minas com exploração de rochas ornamentais; 8- rochas nefelina-sieníticas do Batólito Itarantim: a- Fácies Serra Rancho Queimado, nefelina sienito com aegirina; b- Fácies Serra do Felíssimo, biotita-nefelina sienito; 9- Rochas do embasamento: a- transformadas em fenitos, b- gnaisses sem alteração metassomática evidente.

4.2.1 | Análise Petrográfica

A rocha refere-se a um Fóide Sienito de cor cinza escura (Figura 5), com estrutura maciça, textura fanerítica e inequigranular, com granulação variando de média (2 a 5 mm) a grossa (5 a 15 mm). Compõe-se mineralogicamente por feldspato potássico, piroxênio e/ou anfibólio, nefelina e opacos magnéticos. Os cristais de feldspato potássico possuem cor cinza, granulação grossa (5 a 15 mm), brilho vítreo a nacarado, hábito tabular e são subédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de piroxênio e/ou anfibólio possuem cor preta, granulação média a grossa (3 a 7 mm), brilho resinoso, hábito prismático e são anédricos (sem faces desenvolvidas) quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de nefelina possuem cor verde clara, brilho resinoso, hábito prismático, são anédricos e possuem granulação média (2 a 5 mm). Os minerais opacos são pretos, subédricos, possuem hábito granular a cúbico, são atraídos por ímã e encontram-se bordejados por material ferruginoso.

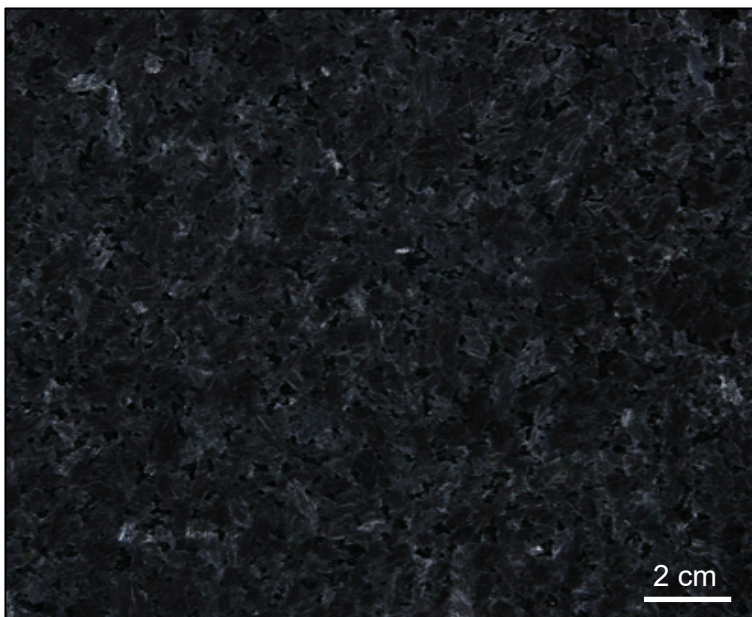


Figura 5. Rocha Café Bahia. Fonte: Pantanal Mármore, Granitos e Pedras Ltda, 2020.

Microscopicamente, a rocha é holocristalina, possui superfícies de contato mineral planar e irregular, apresenta grau de alteração moderado, exibindo processos de uralitização e sericitização em regiões pontuais e alteração de piroxênios para minerais opacos. O estado microfissural da rocha é alto, exibindo microfissuras intra e transgranulares sem preenchimento e intergranulares geralmente sem preenchimento e em regiões pontuais preenchidas por anfibólio intersticial e sodalita. É composta por ortoclásio (55%), nefelina, (15%), piroxênio (aegirina) (5%), hornblenda (5%), biotita (tr), apatita (4%), sodalita (3%), magnetita/opacos (4%), como material de alteração possui goethita (3%), sericita (3%),

cancrinita (3%) e como minerais acessórios, riebeckita (tr) e olivina (tr). Os cristais de ortoclásio são subédricos a anédricos, em geral exibem textura poiquilítica, com inclusões de minerais opacos, aegirina, sodalita e apatita. Apresentam superfícies de contato principalmente planar entre os grãos e processos iniciais de sericitização. Observam-se microfissuras intragranulares vazias ou preenchidas por óxido/hidróxido de ferro (Figura 6A), transgranulares sem preenchimento e intergranulares preenchidas por sodalita ou goethita. Os cristais de nefelina são anédricos, apresentam superfícies de contato irregular e planar entre os grãos, possuem microfissuras intragranulares sem preenchimento e exibem processos iniciais de alteração para cancrinita (Figura 6B). Os cristais de aegirina são anédricos, exibem superfícies de contato irregular entre os grãos e microfissuras intragranulares sem preenchimento. A maior parte dos cristais encontra-se em processo de alteração para anfibólio (hornblenda) e opacos (Figura 6C). Os cristais de hornblenda são anédricos, exibem superfícies de contato irregular entre os grãos, microfissuras intragranulares sem preenchimento e ocorrem principalmente como alteração de piroxênios e preenchendo microfissuras intercristalinas. Os cristais de biotita são subédricos, ocorrem associados aos piroxênios e exibem superfícies de contato planar entre os grãos. Os cristais de apatita são subédricos, exibem superfícies de contato curvilíneas entre os grãos, microfissuras intragranulares preenchidas por material ferruginoso e geralmente ocorrem como inclusão. Os cristais de sodalita ocorrem preenchendo interstícios da rocha (Figura 6D) e inclusos em cristais de ortoclásio e aegirina. Os opacos/magnetita são subédricos a anédricos e exibem uma auréola de goethita (6E).

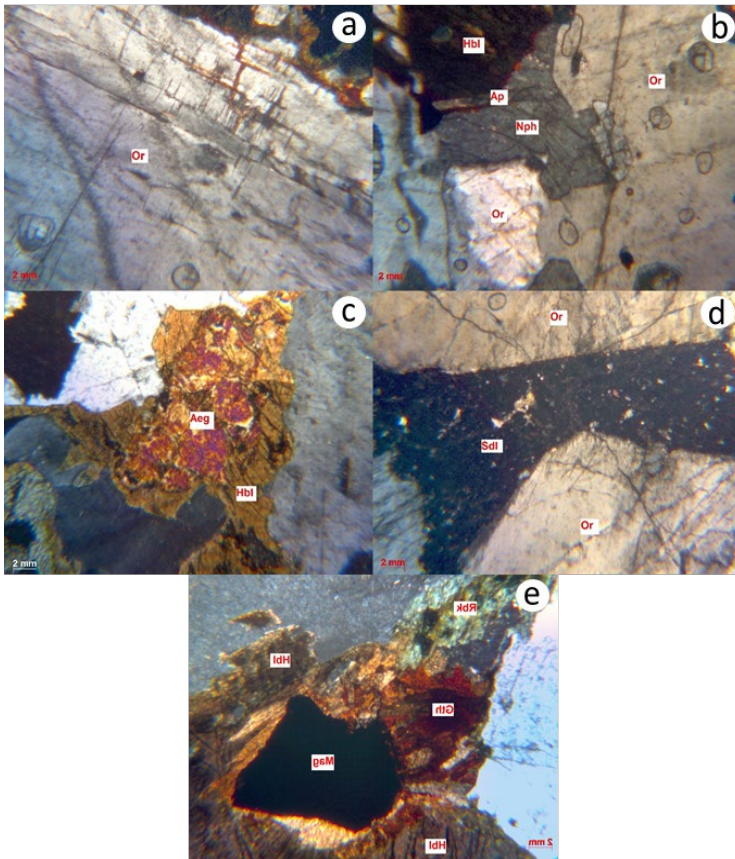


Figura 6. Fotomicrografias da lâmina delgada da rocha Café Bahia com polarizadores cruzados e lentes objetivas de 2,5x de aumento. Abreviações dos nomes de minerais segundo Whitney e Evans (2010).

4.3 | Café Imperial

Durante o Evento Brasileiro houveram estágios colisionais diacrônicos registrados na Província Mantiqueira que foram responsáveis pela deformação, metamorfismo e geração de granitoides crustais. O estágio colisional I (630 Ma) estruturou a porção sul do Orógeno Brasília e deu origem a uma série de nappes de cavalgamento, dentre elas, a Nappe Socorro-Guaxupé (MANTESSO-NETO et al., 2004). Essa é dividida em dois lobos, Guaxupé a norte e Socorro a sul e estrutura-se em uma pilha alóctone composta por três unidades: Unidade Granulítica Inferior, Unidade Diatexítica Intermediária e Unidade Migmatítica Superior (CAMPOS NETO e CABY, 2000 apud MANTESSO-NETO et al., 2004). No lobo Guaxupé a Unidade Diatexítica Intermediária recebe a denominação de Complexo Pinhal (WINTERS, 1981) e se insere em uma unidade granito-migmatítica (Grupo Pinhal) resultante de uma injeção granítica de idade brasileira (CORDANI e BITTENCOURT, 1967; EBERT e BROCHINI, 1968; OLIVEIRA, 1973, WERNICK et al., 1976c apud WINTERS, 1981). As rochas granitoides do Complexo Pinhal variam entre graníticas, quartzo-dioríticas e sieníticas (WINTERS, 1981.). Na porção central do lobo Guaxupé ocorre o Maciço Pedra Branca (Figura 7), um corpo Sienítico, de idade 610 Ma (TÖPFNER, 1996 apud MANTESSO-NETO et al., 2004), que possui forma semicircular em um raio de 8 km na direção leste-sudeste e apresenta zonação, sendo a parte externa do maciço saturada a insaturada em SiO₂ e a parte central, saturada a supersaturada (WINTERS, Op, Cit.).

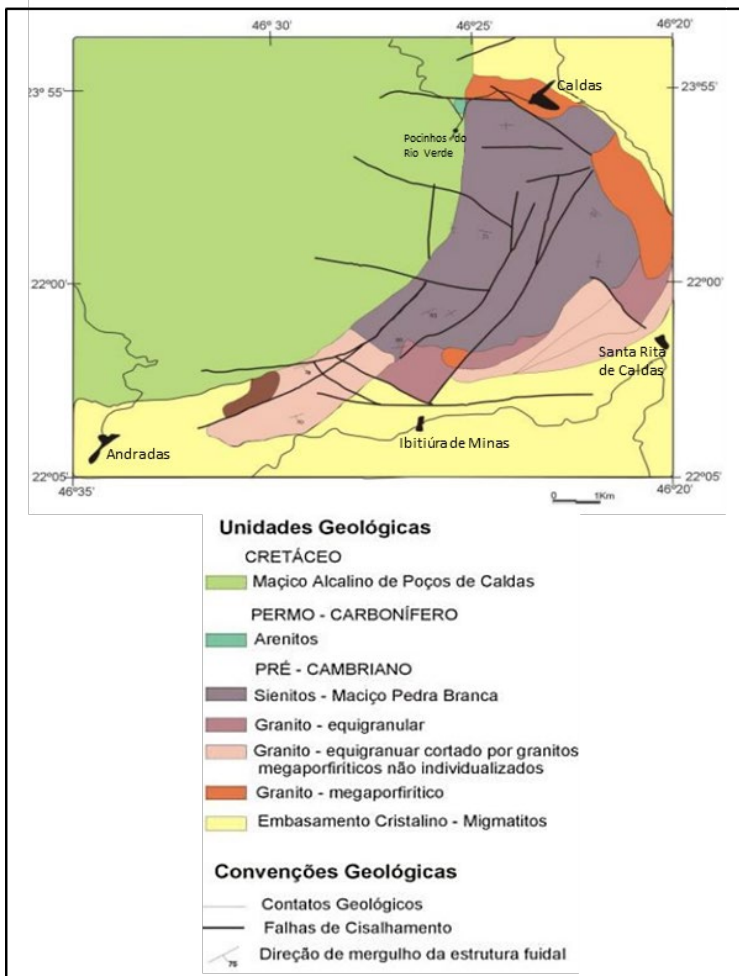


Figura 7. Mapa geológico da região de ocorrência do Maciço Pedra Branca. Modificado de Figueiredo, 2014.

4.3.1 | Análise Petrográfica

A rocha em estudo refere-se a um Fóide Sienito de cor marrom (Figura 8), estrutura maciça, texturalmente é definida como fanerítica e é inequigranular, com granulação variando de média (1 a 5 mm) a grossa (5 a 13 mm). Compõe-se por feldspato potássico, piroxênio e/ou anfibólio, nefelina, opacos e biotita. Os cristais de feldspato potássico possuem cor marrom, granulação variando de média (3 a 5 mm) a grossa (6 a 13 mm), brilho nacarado, hábito tabular e são subédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de piroxênio e/ou anfibólio são de cor verde, possuem granulação média (1 a 5 mm), brilho resinoso, hábito prismático e são subédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de nefelina possuem cor verde clara, brilho resinoso, hábito prismático, são anédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos e possuem granulação média (2 a 5 mm). Os minerais opacos são pretos, possuem brilho metálico, hábito maciço, granulação média (1 a 5 mm), são anédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos e são magnéticos. Os cristais de biotita possuem coloração preta amarronzada, indicando processo de alteração, hábito lamelar, brilho vítreo, granulação média (1 a 2 mm) e são subédricos.

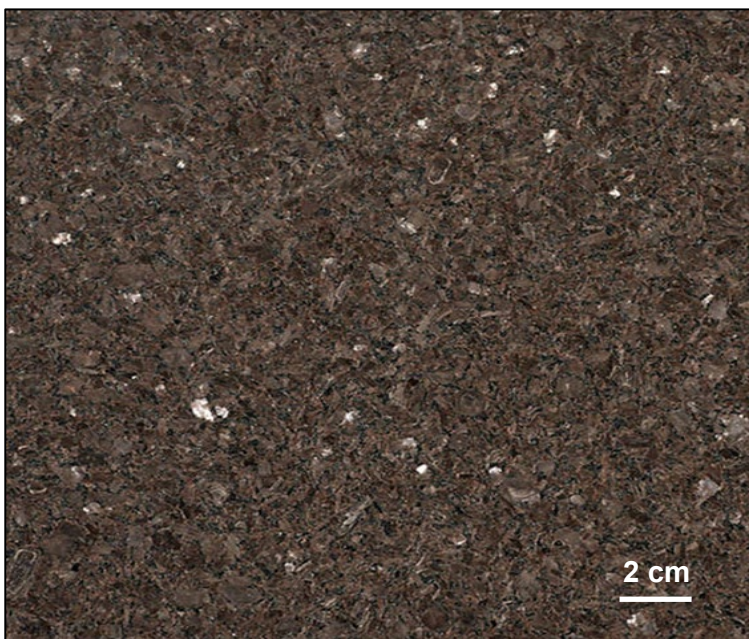


Figura 8. Rocha Café Imperial. Fonte: Coloretti Basaltos e Granitos, 2018.

Microscopicamente, a rocha é holocristalina, possui superfícies de contato planar e irregular entre os grãos, o grau de alteração é elevado, sendo observados processos de biotitização, sericitização, argilização e carbonatação e o estado microfissural também é elevado, exibindo microfissuras intra e intercristalinas com e sem preenchimento. É composta por ortoclásio (68%), nefelina, (8%), piroxênio (aegirina-augita) (10%), magnetita/opacos (4%) e como material de alteração possui argilominerais (3%), sericita (3%), titanita (2%) e biotita (2%). Os cristais de ortoclásio são subédricos, exibem textura pertítica e poiquilítica, com inclusões de minerais opacos,

titanita e aegirina-augita, apresentam superfícies de contato irregular entre os grãos e processos de alteração para argilominerais, sericita e carbonato (Figuras 9A, 9B e 9C). Observam-se microfissuras intracristalinas vazias e preenchidas por argilominerais (Figura 9D) e intercristalinas vazias e preenchidas por minerais opacos e titanita. Os cristais de aegirina-augita são subédricos, exibem superfícies de contato planar e irregular entre os grãos e microfissuras intragranulares sem preenchimento (Figura 9E). Encontram-se em processo de alteração para biotita, titanita e minerais opacos. Os cristais de nefelina são subédricos, apresentam superfícies de contato irregular entre os grãos, inclusões de biotita, microfissuras intragranulares sem preenchimento e preenchidas por argilominerais e intergranulares preenchidas ou não por titanita e opacos. Os minerais opacos são anédricos, ocorrem preenchendo interstícios minerais e exibem superfícies de contato planar e irregular entre os grãos.

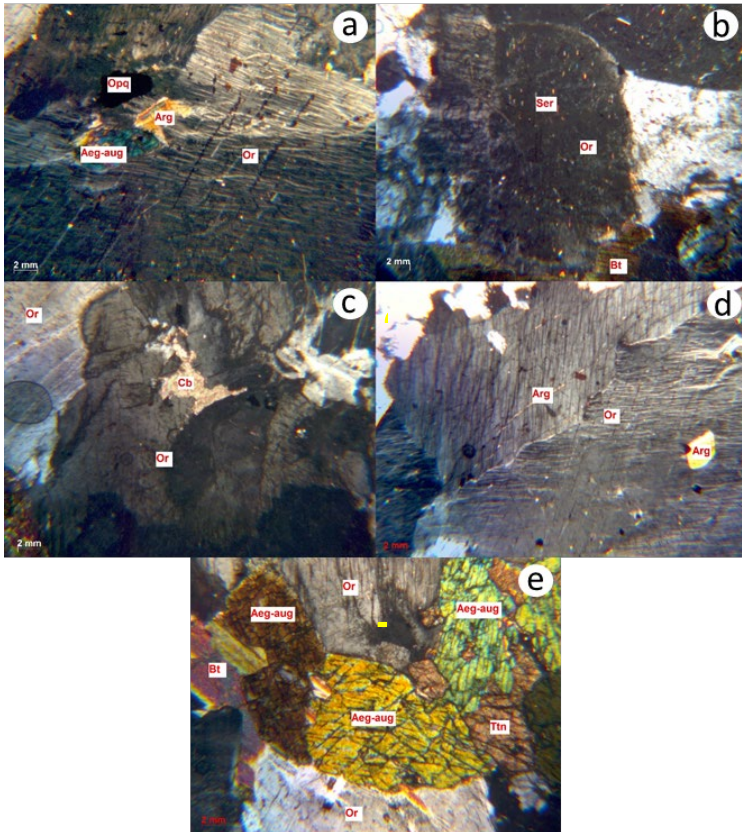


Figura 9. Fotomicrografias da lâmina delgada da rocha Café Imperial com polarizadores cruzados e lentes objetivas de 2,5x de aumento. Abreviaturas dos nomes de minerais segundo Whitney e Evans (2010).

4.4 | Ocre Itabira

A rocha Ocre Itabira se insere geologicamente na Província Mantiqueira, que é considerada um sistema orogênico neoproterozóico-cambriano e é constituída por quatro orógenos: Araçuaí, Ribeira, Dom Feliciano e São Gabriel e pela zona de interferência entre os orógenos Brasília e Ribeira. No Orógeno Araçuaí são reconhecidos quatro estágios orogênicos: pré-colisional (630 - 580 Ma), sin-colisional (580 - 560 Ma), tardi-colisional (560 - 530 Ma) e pós-colisional (530 - 490 Ma). Durante o estágio pós-colisional ocorreram processos deformacionais (MARSHAK et al., 2006, ALKMIM et al., 2007) e plutonismos relacionados ao colapso gravitacional (extensional) do orógeno (PEDROSA-SOARES E WIEDEMANN-LEONARDOS, 2000, PEDROSA-SOARES et al. 2001, CAMPOS et al. 2004). Formaram-se as suítes G4 e G5, sendo essas constituídas por plútons intrusivos.

As intrusões G5 são divididas em dois estágios de formação: estágio precoce, que é constituído por charnockitos, com granulação grossa e rico em hiperstênio, que ocorrem na forma de batólitos, tais como o Baixo Guandu e Itapina (PINTO et al. 1998, MENDES et al. 1999, MEDEIROS et al. 2000, WIEDEMANN-LEONARDOS et al. 2000) e estágio final, caracterizado pelo magmatismo bimodal, representado por rochas de composição variando de gabro a granito, constituindo diversos plutons aflorantes, principalmente na região sul do estado do Espírito Santo (WIEDEMANN-LEONARDOS et al. 2000, PEDROSA-SOARES et al. 2007). Esse magmatismo resultou em plútons com núcleos máficos circunscritos por magmas félsicos (sienitos, monzonitos e granitos). Comumente apresentam feições de mistura de

magmas, além de enclaves máficos, xenólitos das rochas encaixantes, diques e sills de granodioritos, sieno a monzogranitos (WIEDEMANN et al., 1986; BAYER et al., 1987; WIEDEMANN-LEONARDOS et al., 2000, CAMPOS et al., 2004). O Maciço Intrusivo de Venda Nova (Figura 10) está compreendido na Suíte G5, possui forma circunscrita e é inversamente zonado. Na parte interna do maciço encontram-se gabro e monzogabro que estão envolvidos por sienogranitos e granitos. Entre os gabros e os sienogranitos desenvolveu-se uma zona mista destes litotipos. Um estreito e irregular anel norítico e charnoenderbítico circunda o conjunto nas suas bordas oeste (MENDES et al., 1994 apud MENDES et al., 2002).

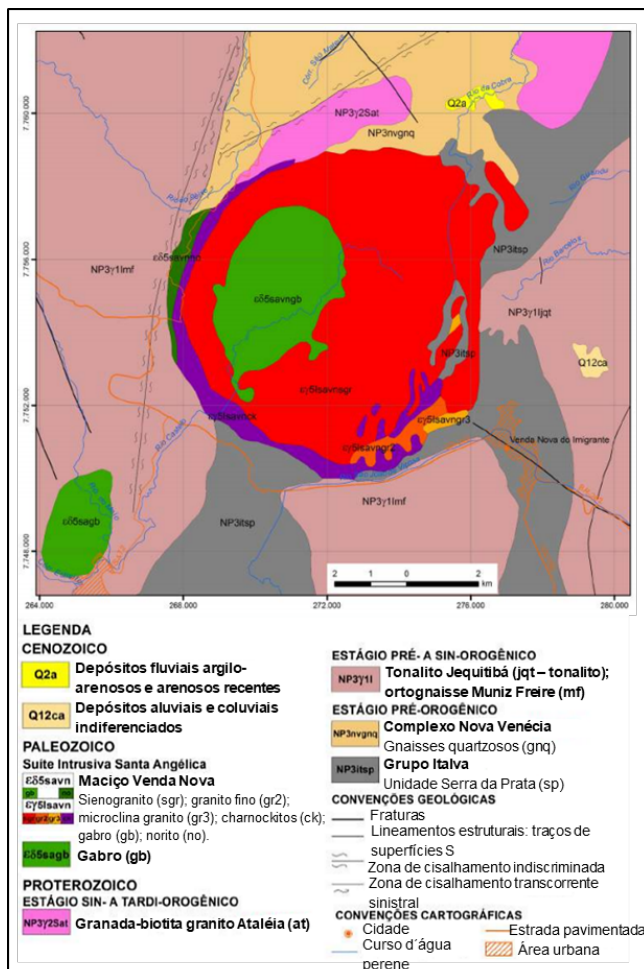


Figura 10. Maciço intrusivo Venda Nova. Recorte do Mapa Geológico do Espírito Santo, escala 1:400.000. Fonte: Vieira e Menezes (2015).

4.4.1 | Análise Petrográfica

Trata-se de um Quartzo Sienito de coloração cinza amarronzada (Figura 11), leucocrático, com estrutura maciça, textura fanerítica e inequigranular seriada, sua granulação varia de fina (< 1mm) a grossa (5 a 12 mm), com predominância de grossa. É composto por feldspato potássico, plagioclásio, piroxênio e/ou anfibólio, quartzo, biotita e opacos magnéticos. Os cristais de feldspato potássico possuem coloração amarronzada, granulação variando de média (4 a 5 mm) a grossa (6 a 12 mm), brilho vítreo, hábito tabular e são subédricos a anédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de piroxênio e/ou anfibólio possuem cor preta, granulação média (2 a 5 mm) a grossa (6 a 8 mm), brilho nacarado a vítreo, hábito prismático e são anédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de plagioclásio são de cor branca, possuem granulação fina (< 1 mm) a média (1 a 2 mm), brilho nacarado, hábito prismático e são anédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de quartzo são incolores, possuem brilho vítreo, hábito prismático, granulação média (1 a 2 mm) e são anédricos quanto ao grau de perfeição dos grãos. Os cristais de biotita são pretos, possuem hábito lamelar, granulação média (3 a 5 mm), brilho vítreo e são subédricos. Os minerais opacos são pretos, possuem granulação média (2 a 4 mm), brilho nacarado, hábito prismático e são magnéticos.

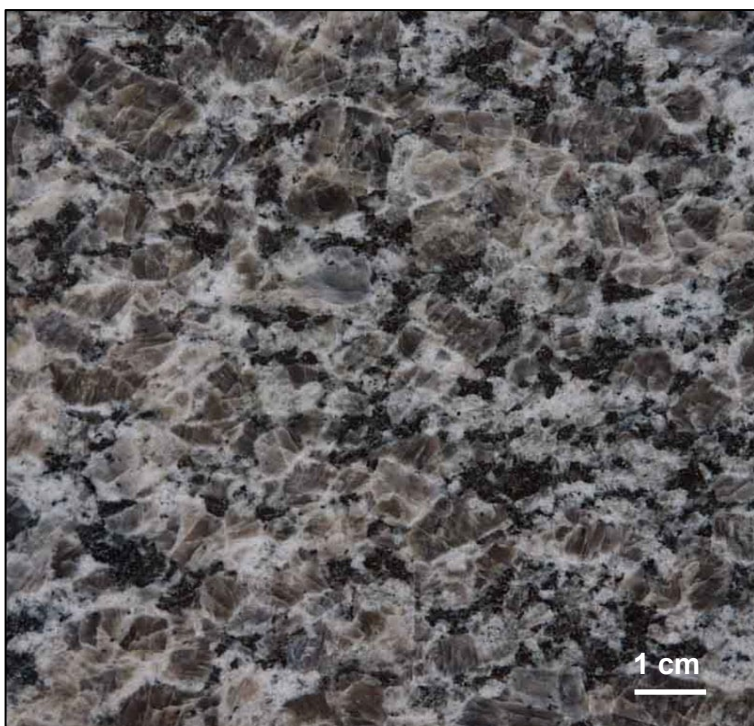


Figura 11. Rocha Ocre Itabira. Fonte: Margran – Mármore e Granitos, 2020.

Microscopicamente, a rocha é holocristalina, exibe superfícies de contato planar e irregular entre os grãos, o grau de alteração é moderado, sendo observadas alterações de anfíbólio, biotita e titanita para minerais opacos e processos iniciais de sericitização. O estado microfissural é elevado, apresentando microfissuras intra e intercristalinas preenchidas

por argilominerais e transcristalinas abertas sem preenchimento (Figura 12A). Observa-se textura mirmequítica (Figura 12B), que é o intercrescimento de quartzo vermicular no contato entre feldspatos (ortoclásio e plagioclásio), por toda rocha.

Compõe-se por ortoclásio (45%), plagioclásio (23%), anfibólio (hornblenda) (7%), biotita (6%), opacos (6%), titanita (3%), quartzo (5%), apatita (1%), como material de alteração possui argilominerais (3%) e sericita (1%) e como acessórios, epidoto (tr). Os cristais de ortoclásio são subédricos, exibem textura perfitica, superfícies de contato irregular entre os grãos e processos iniciais de alteração para sericita, se iniciando das bordas para o centro do cristal. Apresentam microfissuras intra e intercristalinas preenchidas por argilominerais (Figura 12C). Os cristais de hornblenda são subédricos a anédricos, exibem superfícies de contato irregular entre os grãos e microfissuras intragranulares sem preenchimento, encontram-se em processo de alteração para biotita e minerais opacos e exibem textura poiquilítica, com inclusões de leucoxênio, epidoto e apatita. Os cristais de plagioclásio são anédricos, exibem macla polissintética, superfícies de contato irregular entre os grãos, apresentam microfissuras intragranulares preenchidas por argilominerais e inclusões de biotita e hornblenda. Os cristais de quartzo são anédricos, exibem superfícies de contato irregular entre os grãos, extinção ondulante e microfissuras intergranulares preenchidas por argilominerais. Os cristais de titanita são anédricos, exibem superfícies de contato irregular entre os grãos e encontram-se quase que totalmente alterados para minerais opacos (ilmenita) (Figura 12D).

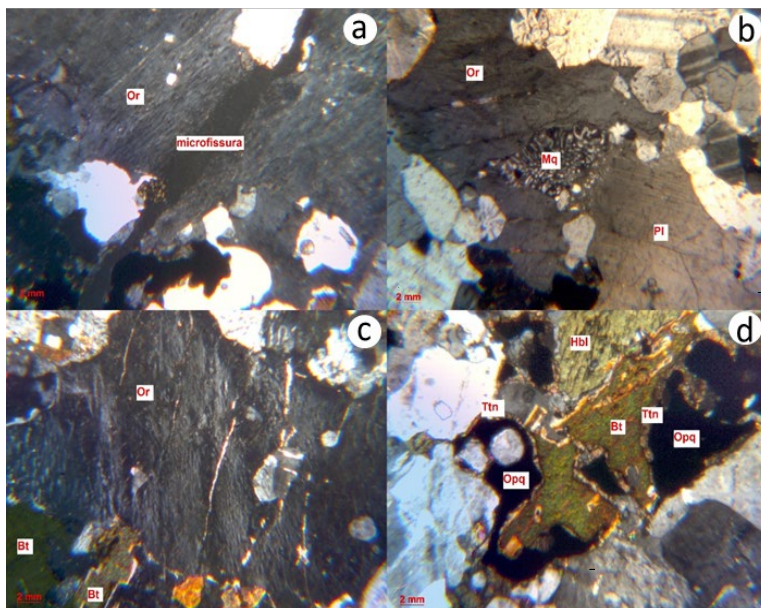


Figura 12. Fotomicrografias da lâmina delgada da rocha Ocre Itabira com polarizadores cruzados e lente objetiva de 2,5x de aumento. Abreviaturas dos nomes de minerais segundo Whitney e Evans (2010).

5 | PERSPECTIVAS

O principal produto que se busca obter com este projeto é o entendimento teórico e prático sobre a importância, vantagens, desvantagens e técnicas de solubilização dos nutrientes que constituem diferentes rochas ornamentais para o uso na agricultura, de modo que os resultados a serem obtidos com o projeto possam efetivamente servir de base para a implementação de medidas adaptativas e/ou mitigadoras pelo setor de rochas ornamentais frente ao entraves do sistema de produção.

Os resultados a serem obtidos com esta pesquisa beneficiarão a tomada de ações estratégicas, preventivas ou mitigadoras, pelo setor de rochas ornamentais e de agricultura, bem como por órgãos governamentais e instituições de pesquisa, podendo proporcionar a mudança de paradigmas relativos à destinação final dos resíduos industriais concomitantemente a fertilização de solos agrícolas, uso de agrotóxicos e recuperação de áreas degradadas por atividades antrópicas. O conhecimento dos mecanismos de solubilização dos minerais presentes nas rochas contribui para sua utilização mais eficiente e racional dentro dos sistemas agrícolas e carece de estudos.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescente aumento nas importações brasileiras de fertilizantes, se por um lado é decorrente do aumento na produção agrícola nacional e fortalece o país no *ranking* dos maiores países produtores de alimentos do mundo, contribuindo para a manutenção positiva do Produto Interno Bruto, por outro evidencia a dependência externa por estes insumos agrícolas.

Neste cenário, a busca por fontes de nutrientes alternativas multielementares adquire grande importância para o futuro da produção agrícola brasileira, de forma mais sustentável, com maior viabilidade e menor impacto ao meio ambiente.

Considerada como uma eficiente alternativa para a agricultura brasileira, uma vez que o país possui grande geodiversidade, o uso agrônômico dos finos da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais (FIBRO) é recomendado como fonte complementar de nutrientes para o sistema solo-planta (remineralizadores), dentro de padrões mais sustentáveis, e o conhecimento dos mecanismos de solubilização dos minerais presentes nas rochas contribui para sua utilização mais eficiente e racional dentro dos sistemas agrícolas.

Vale ressaltar que pesquisas na área de rochagem demandam de conhecimento multidisciplinar, visto que alguns dos processos físicos, químicos e biológicos utilizados na tentativa de acelerar a liberação de nutrientes podem, em alguns casos, divergir com o previsto na legislação, inviabilizando o uso do mineral como remineralizador dentro do processo de rochagem, assim como podem contrastar com os riscos à saúde humana e (ou) vegetal inerentes a utilização destes microrganismos.

7 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (ABIROCHAS), os quais dão suporte técnico e financeiro para a realização e manutenção desta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2019. Brasília: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, 2020.

ABIROCHAS. O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais. Brasília: Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, 2018.

ALKMIM, F.F., PEDROSA-SOARES, A.C., NOCE, C.M., CRUZ, S.C.P. 2007. Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. Geonomos, 15: neste número.

ALOVISI, A.M.T. et al. Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 9, p. 918 - 932, 2020.

ALVES, L.; OLIVEIRA, V.L.; FILHO, G.N.S. Utilization of rocks and ectomycorrhizal fungi to promote growth of eucalypt. Brazilian Journal of Microbiology, v. 41, p. 76 - 84, 2010.

ANDA. Relatório sobre o mercado de fertilizantes – Janeiro 2020. Associação Nacional para a Difusão de Adubos, 2020.

ARGELIS, D.T. et al. Biochemical mechanism of stone alteration carried out by filamentous fungi living in monuments. Biogeochemistry, v. 19, p. 129 - 147, 1993.

ASSAD, E.D. et al. A produção agrícola brasileira pode ser sustentável? Agroanalysis, v. 39, p. 27 - 29, 2019.

ASSIS, L.B. DE. Agroecologia sob a visão do direito: estudo do manejo da rochagem como demonstração de que a agroecologia é instrumento de direito à alimentação e de preservação da vida. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2015.

BATISTA, N.T.F. Atributos químicos do solo e componentes agrônômicos na cultura da soja pelo uso da rochagem. p. 56, 2013.

BAYER B., SCHIMIDT-THOMÉ R., WEBER-DIEFENBACH K., HORN H. A. Complex concentric granitoid intrusions in the coastal mobile belt, Espírito Santo, Brazil: the Santa Angélica Pluton – an example. *Geologische Rubdschau*, v.76, n.2, 357 - 371, 1987.

BERGMANN, M.; HOFF, R.; THEODORO, S.M.D.C.H. Rochagem Viabilizando o uso sustentável dos descartes de mineração no Distrito mineiro de Ametista do Sul (DMAS), RS, BRASIL. I CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM. Brasília: Embrapa Cerrados, 2009.

BRASIL. 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. Brasília, 2016.

BRASIL. Lei Federal nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. Brasília, 1980.

BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Brasília, 2013.

Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v.29, n.1, 47 - 54, 1999.

BRITO, R.S. DE et al. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação complementar. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, v. 6, n. 1, 2019.

BRIZ, J. Exportações brasileiras de rochas ornamentais ultrapassam US\$ 1 bi de faturamento. *Revista Minérios & Mineraleis*, 2020.

CAMPO, A.R. DE et al. Resíduos: tratamento e aplicações industriais. In: VIDAL, F.W.H.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. (Eds.). *Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento*. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2013. p.434 - 492.

CAMPOS, C.M., MENDES, J.C., LUDKA, I.P., MEDEIROS, S.R., MOURA, J.C., WALLFASS, C. A review of the Brasiliano magmatism in South ern Espírito Santo, Brazil, with emphasis on post collisional magmatism. *Journal of the Virtual Explorer*, v.17, 1 - 35, 2004.

CARVALHO, A.M.X. Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo: Sustentabilidade e inovação no campo. Minas Gerais, 2013.

CHIODI FILHO, C. Consumo interno, perfil de utilização e estrutura de comercialização das rochas ornamentais e de revestimento no Brasil. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais – ABIROCHAS, 2004.

CLARCK, R.B.; ZETO, S.K. Growth and root colonization of mycorrhizal maize grown on acid and alkaline soil. *Soil Biology Biochemistry*, v. 28, p. 1505 - 1511, 1996.

CLARCK, R.B.; ZETO, S.K. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 23, p. 867 - 902, 2000.

CLARCK, R.B.; ZOBEL, R.W.; ZETO, S.K. Effects of mycorrhizal fungus isolate on mineral acquisition by *Panicum virgatum* in acidic soil. *Mycorrhiza*, v. 9, p. 167 - 176, 1999.

COLA, G.P.A.; SIMÃO, J.B.P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 4, p. 15 - 27, 2012.

COLORETTI BASALTOS E GRANITOS. c2018. Produtos. Disponível em: <https://www.coloretti.com.br/produtos/produto/granito-marrom-guaiba>. Acesso em: 01 dez. 2020.

CONAB. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Companhia Nacional de Abastecimento, 2019.

COSTA, R.M.D.S.; ADAMS, M.S.; BONO, J.A. Remineralizador de solo na cultura da soja em sistema de plantio direto. *Seminário de Iniciação Científica UNOPAR*, p. 4, 2019.

DIAS, F.O. et al. Pó de basalto apoteri nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo Distrófico. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007.

DUARTE, W.M. et al. Potencial de olivina mellilito, granito e sienito na disponibilização de potássio em solos. Revista de Ciências Agroveterinárias, v. 12, p. 60 - 77, 2013.

EMBRAPA. III Congresso Brasileiro de Rochagem em preparativos, 2016.

EMBRAPA. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018.

FIGUEIREDO, J.M.V. Aplicação de Análise Estrutural para Orientação de Lavra do Sienito Café Imperial. Monografia. 2014 Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Universidade Federal de Alfenas – Campus de Poços de Caldas, MG. 40f.

FILHO, J.E.R.V. Expansão da fronteira agrícola no brasil: desafios e perspectivas. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016.

FINDES. Espírito santo é o líder no país em exportação de rochas ornamentais. Federação das Indústrias do Espírito Santo – FINDES, 2020

FONSECA, D.S. Panorama dos fertilizantes no brasil: uma justificativa para a rochagem. Embrapa, 2016.

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

HU, X.F.; CHEN, J.; GUO, J.F. Two phosphate and potas - sium solubilizing bacteria isolated from Tianmu Mountain, Zhejiang, China. World Journal of Microbiology and Biotechnology, v. 22, p. 983 - 990, 2006.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola: dezembro 2019. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020.

IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil – dezembro 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, v. 30, n. 12, p. 82, 2017.

IDEIES. Análise de competitividade do setor das indústrias de rochas ornamentais do estado do espírito santo. Instituto de Desenvolvimento Educacional e Industrial do Espírito Santo - IDEIES, p. 68, 2016.

LIAN, B. et al. A comprehensive review of the mechanism of potassium releasing by silicate bacteria. *Acta Mineralógica Sinica*, v. 22, p. 179 - 183, 2002.

LIMA, R.C.M. et al. Rendimento da alface e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio. *Horticultura Brasileira*, v. 25, p. 224 - 229, 2007.

LINS, F.F. et al. Apresentação. Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Anais...Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010

LIU, D.; LIAN, B.; DONG, H. Isolation of *Paenibacillus* sp. and assessment of its potential for enhancing mineral weathering. *Geomicrobiology Journal*, v. 29, p. 413 - 421, 2012.

LOPES NETO, J. Aspectos Petrográficos e Geoquímicos dos Diques do Batólito Sienítico Itarantim, Sul do Estado da Bahia. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2007.

LOPES-ASSAD, M.L.L. et al. Solução de pó-de-rocha por *Aspergillus niger*. *Espaço & Geografia*, v. 9, p. 1 - 17, 2006.

MALAVOLTA, E. O Futuro da nutrição de plantas tendo em vista aspectos agrônômicos, econômicos e ambientais. *International Plant Nutrition Institute*, n. 121, p. 10, 2008.

MANTESSO-NETO, V., BARTORELLI, A., CARNEIRO, C.D.R., BRITO-NEVES, B.B. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo. Editora Beca. 673p, 2004.

MARGRAN MÁRMORES E GRANITOS. c2020. Produtos. Disponível em: <http://www.margranitabuna.com.br/produtos/>. Acesso em: 01 dez. 2020.

MARSHAK S., ALKMIM F. F., WHITTINGTON A., PEDROSA-SOARES A.C. Extensional collapse in the Neoproterozoic Araçuaí orogen, eastern Brazil: A setting for reactivation of asymmetric crenulation cleavage. *Journal Structural Geology*, v.28, 129 - 147, 2006.

MARTINS, J.C.; MARTINS, E.S.; REATTO, A. Revisão de intemperismo de micas. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.

MARTINS, V. et al. Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 1, p. 194 - 204, 2015.

MATIAS, R.A.M. Efeito da suplementação nutricional no desenvolvimento de espécies florestais nativas do cerrado, em viveiro. [s.l.] UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2017.

MEDEIROS S.R., WIEDEMANN C.M., MENDES J.C. Post collisional magmatism in the Araçuaí-Ribeira Mobile belt: geochemical and isotopic study of the Várzea Alegre intrusive complex (VAIC), ES, Brazil. *Revista Brasileira De Geociências*, v. 30, n. 30 - 34, 2000.

MENDES J.C., WIEDEMANN C.M., MCREATH I. Conditions of formation of charnockitic magmatic rocks from the Várzea Alegre Massif, Espírito Santo, Southeastern.

MENDES, J.C., WIEDEMANN, C. M., MCREATH, I. Norito e charnoenderbitos da borda do Maciço Intrusivo de Venda Nova, Espírito Santo. *An. Inst. Geo.*, v. 25: 99 - 124. 2002.

MIRMINACHI, F.; ZHANG, A.; ROEHR, M. Acid fermentation and heavy metal ions. *Acta Biotechnology*, v. 22, p. 363 - 373, 2002.

MYRVANG, MO. B. et al. Geochemistry of barium in soils supplied with carbonatite rock powder and barium uptake to plants. *Applied Geochemistry*, v. 75, p. 8, 2016.

NOVELINO, J.O. et al. Cálcio e magnésio trocáveis pH e saturação em bases de amostras de solos submetidas a aplicação de mármore triturado. Londrina: Anais da Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo de Nutrição de Plantas, 2008.

NUNES, J.; KAUTZMANN, R.; OLIVEIRA, C. Evaluation of the natural fertilizing potential of basalt dust wastes from the mining district of Nova Prata (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, v. 84, p. 649 - 656, 2014.

OLIVEIRA, C.N. DE; QUEIRÓZ, J.P.C.; RIBEIRO, R.C. DA C. Efeito da fertilização do solo com resíduos de rochas ornamentais na qualidade do biodiesel extraído. *Mineralis CETEM*, p. 7, 2010.

OSTERROHT, M.V. Rochagem para quê? *Revista Agroecologia Hoje*, v. 20, n. 12 - 15, 2003.

PÁDUA, E.J. DE. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2012.

PANTANAL MARMORES, GRANITOS E PEDRAS LDTA. c2010-2020. Mercadorias. Disponível em: <https://19772-br.all.biz/goods>. Acesso em: 01 dez. 2020.

PEDROSA-SOARES A.C., NOCE C.M., WIEDEMANN C.M., PINTO C.P. The Araçuaí-West Congo orogen in Brazil: An overview of a confined orogen formed during Gondwanland assembly. *Precambrian Res.*, v. 110, 307 - 323, 2001.

PEDROSA-SOARES A.C., WIEDEMANN-LEONARDOS. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil. In: E.J. Cordani, A. Milani, D.A. Thomaz-Filho, D.A. Campos (org). *Tectonic Evolution of South America*. SBG, São Paulo, p. 265 - 285.

PEIXOTO, R. DE A. O. Recuperação de potássio da rocha verde via reação com hidróxido de cálcio em condições hidrotermais. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

PHILIPP, R.P., MACHADO, R., NARDI, L.V.S., LAFON, J.M.O. Magmatismo Granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no Sul do Brasil: Novos Dados e Revisão da Geocronologia Regional. Rev. Brasileira de Geociências. v. 32, n. 2, 277 - 290, jun/2002.

PINHEIRO, C.M. et al. Efeito do pó de rocha MB-4 nas características químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 2008.

PINTO C.P., DRUMOND J.B.V., FÉBOLI W.L. Projeto Leste, Etapa 1. Belo Horizonte, CPRM – COMIG, 1997.

PRAJAPATI, K.; MODI, H.A. Isolation and characterization of potassium solubilizing bacteria from ceramic industry soil. CIB Technol J Microbiol, v. 1, p. 8 - 14, 2012.

PRAJAPATI, K.; SHARMA, M.C.; MODI, H.A. Growth promoting effect of potassium solubilizing microorganisms on *Abelmoschus esculentus*. International Journal of Agricultural Science, v. 3, p. 181 - 188, 2013.

RAJAWAT, M.V.S. et al. Isolation and characterization of K-solubilizing bacteria isolated from different rhizospheric soil. Annual conference of association of microbiologists of India, p. 124, 2012.

RAMOS, C.G. et al. A preliminary evaluation of volcanic rock powder for application in agriculture as soil a remineralizer. Science of the Total Environment, v. 512 - 513, p. 371 - 380, 2015.

RESENDE, Á.V. DE et al. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. Espaço & Geografia, v. 9, n. 1, p. 135 - 161, 2006.

RIVERA, C.B. Construção do Maciço Sienítico Piquiri (609 A 583 Ma) por Colocação Sucessiva de Pulsos de Magma Ultrapotássico e Shoshonítico Sob Extensão no Escudo Sul-Rio-Grandense. 2019. Tese de Doutorado - Porto Alegre. IGEO/UFRGS. 218f.

ROSA, M.L.S.; CONCEIÇÃO, H.; MACAMBIRA, M.J.B.; MENEZES, R. C.L.; CUNHA, M.P.; RIOS, D.C.; MARINHO, M.M. Magmatismo Alcalino Intraplaca Neoproterozóico no Sul do Estado da Bahia: O Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim. Rev. Brasileira de Geociências. v. 35, n. 4 - suplemento, 47 - 58, dez/2005.

SANGEETH, K.P.; BHAI, R.S.; SRINIVASAN, V. *Paenibacillus gluconolyticus*, a promising potassium solubilizing bacterium isolated from black pepper (*Piper nigrum* L.) rhizosphere. J Spic Aromat Crop, v. 21, n. 2, p. 118 - 124, 2012.

SANTOS, M.; GLASS, V. Atlas do agronegócio: fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos. Rio de Janeiro: [s.n.], 2018.

SBARAINI, S. Dados de Anisotropia de Susceptibilidade Magnética na Modelagem Tridimensional do Maciço Sienítico Piquiri. Monografia. Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012. p. 54.

SÉKULA, C.R. Rochagem e biofertilizantes como fontes de nutrientes para grandes culturas: efeitos na produtividade e no solo. [s.l.] Universidade Estadual do Centro-Oeste, 2011.

SHENG, X.F.; HE, L.Y. Solubilization of potassium bearing minerals by a wild type strain of *Bacillus edaphicus* and its mutants and increased potassium uptake by wheat. Canadian Journal of Microbiology, v. 52, p. 66 - 72, 2006.

SHENG, X.F.; HUANG, W.Y. Study on the conditions of potassium release by strain NBT of silicate bacteria. Scientia Agricultura Sinica, v. 35, p. 673 - 677, 2002.

SILVA, A. et al. Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamlii*. Revista Floresta, v. 42, n. 1, p. 69 - 76, 2012.

SILVA, M.E. Avaliação da susceptibilidade de rochas ornamentais e de revestimento à deterioração – um enfoque a partir do estudo em monumentos do Barroco Mineiro. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-76ZJ33>. Acesso em: 02 mar. 2020.

SILVA, V.J.A. et al. Avaliação dos caracteres agronômicos da soja tratada com doses crescentes de pó de rocha. IV Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar; II Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar, p. 6, 2019.

SILVA, V.N. Interação de microorganismos na solubilização de fósforo e potássio de rochas para a produção de biofertilizantes. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2013.

SIMÕES, M.S. Petrologia do Complexo Máfico-ultramáfico Mata Grande, São Sepé, RS. Monografia. Geologia. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

SOARES, A.C.P. et al. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após Almeida 1977. *Geonomos*, v. 15, p. 1 - 16, 2007.

SOUZA, F.N.S. O potencial de agrominerais silicáticas como fonte de nutrientes na agricultura tropical. [s.l.] Universidade de Brasília, 2014.

SOUZA, I.C. DE A.; SCHNEIDER, C.L. Avaliação da rocha nefelina sienito para aplicação na rochagem . Extração de potássio a partir de um agente alcalino. IV Jornada do Programa de Capacitação Interna do Centro de Tecnologia Mineral, v. 22, p. 8, 2015.

SOUZA, W. DOS S. Uso da rochagem para remineralização de solos de baixa fertilidade. [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2019.

STABEL, L.Z., NARDI, L.V.S, CID, J.P. Química Mineral e Evolução Petrológica do Sienito Piquiri Magmatismo Shoshonítico, Neoproterozoico, Pós-colisional no Sul do Brasil. *Rev. Brasileira de Geociências*. v.31, n. 2, 211 - 222, jun/2001.

THEODORO, S.H. et al. A importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, p. 1390 - 1407, 2012.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, n. 4, p. 721 - 730, 2006.

THEODORO, S.M. DE C.H. A fertilização da terra pela terra: uma alternativa para a sustentabilidade do pequeno produtor rural. [s.l.] Universidade de Brasília, 2000.

TORRES, J.D.P. Mobilidade Geoquímica e Caracterização Petrográfica de Rochas da Província Alcalina, Sul do Estado da Bahia. Monografia. Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2013.

UROZ, S. et al. Effect of the mycorrhizosphere on the genotypic and metabolic diversity of the bacterial communities involved in mineral weathering in a forest soil. *Applied Environmental Microbiology*, v. 73, p. 3019 - 3027, 2007.

USDA. Supply and Distribution Online. Disponível em: <<https://www.usda.gov/>>. Acesso em: 11 out. 2019.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, n. 4, 2006.

VERESOGLOU, S.D.; MAMOLOS, A.P.; THORNTON, B. Medium-term fertilization of grassland plant communities masks plant species-linked effects on soil microbial community structure. *Plant and Soil*, v. 344, p. 187 - 196, 2011.

VIEIRA V.S.; DE MENEZES R.G., (Orgs.). Geologia e recursos minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais. Belo Horizonte: CPRM, 2015.

WHITNEY, D.L., EVANS, B.W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, v. 95, 185 - 187, 2010.

WIEDEMANN C.M., BAYER P., HORN H., LAMMERER B., LUDKA I.P., SCHMIDT-THOMÉ R. AND WEBERDIEFENBACH K. Maciços intrusivos do sul do Espírito Santo e seu contexto regional. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 16: 24 - 37, 1986.

WIEDEMANN-LEONARDOS C.M., LUDKA I.P., MEDEIROS S.R., MENDES J.C., COSTA-DE-MOURA J. Arquitetura de plutons zonados da Faixa Araçuaí-Ribeira. *Geonomos*, v. 15, n.1, 25 - 38, 2000.

WINTERS, A.A.M.A Geologia do Maciço Sienítico da Pedra Branca, Caldas – MG. Tese de Mestrado – São Paulo. Instituto de Geociências/USP. 92f.

WRITZL, T.C. et al. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em latossolo. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 9, n. 2, 2019.

WU, S.C. et al. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. v. 125, p. 155 - 166, 2005.

YOUSEFI, A.A. et al. Phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi impacts on inorganic phosphorus fractions and wheat growth. World Applied Sciences Journal, v. 15, n. 9, p. 1310 - 1318, 2011.

ZARJANI, J.K. et al. Isolation and characterization of potassium-solubilizing bacteria in some Iranian soils. Archives of Agronomy and Soil Science, v. 59, p. 1713 - 1723, 2013.

ZHANG, C.; KONG, F. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizosphere soil and their effect on tobacco plants. Applied Soil Ecology, v. 82, p. 18 - 25, 2014.

ZHAO, F.; SHENG, X. F.; HUANG, Z. Isolation of mineral potassium solubilizing bacterial strains from agricultural soils in Shandong province. Biodiversity Science, p. 593 - 600, 2008.

ZHAO, X. et al. Can potassium silicate mineral products replace conventional potassium fertilizers in rice–wheat rotation? Agronomy Journal, v. 111, n. 4, p. 2075 - 2083, 2019.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2020, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 360 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Rochas e Minerais Industriais

SRMI- 29 – **Modelagem cinemática do processo de polimento de rochas ornamentais para estudo de seus aspectos tribológicos analisados pelo método dos elementos finitos.** Rodrigo Lopes Arcanjo, Leonardo Luiz Lyrio da Silveira, Marckcilei Lima Dan, Victor Moza Ponciano, Phillippe Fernandes de Almeida, Wana Favero Gab Dorigo, 2020.

SRMI- 28 – **Estimativa da incerteza da medição para ensaios de caracterização tecnológica de rochas aglomeradas.** Abiliane de Andrade Pazeto, Francisco Wilson Hollanda Vidal, 2020.

SRMI- 27 – **Caracterização das rochas presentes nas edificações históricas da Ilha da Boa Viagem.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Rosana Elisa Coppêde Silva, Michelle Teixeira C. C. dos Santos, Leonardo Cesar dos Santos, Anna Gabriele Oliveira de Souza, 2019.

INFORMAÇÕES GERAIS

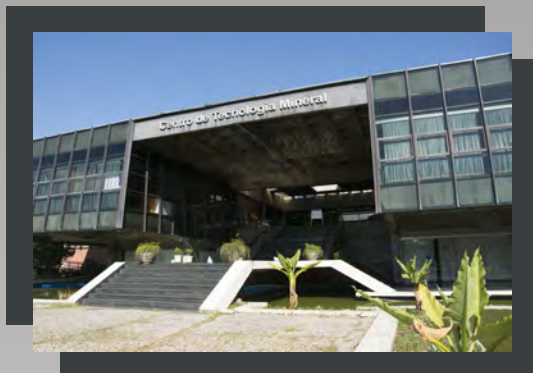
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3865-7222
Biblioteca: (21) 3865-7218
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m² de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 43 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.