



Universidade Federal do Rio de Janeiro - Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências - Departamento de Geologia

Matheus Rocha Violante

**Avaliação do potencial agrogeológico das rochas ultrabásicas a intermediárias da
Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo**

Rio de Janeiro (RJ)

2024

Matheus Rocha Violante

**Avaliação do potencial agrogeológico das rochas ultrabásicas a intermediárias da
Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado no Departamento de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

Coorientadora: Msc. Magda Bergmann

Rio de Janeiro (RJ)

2024

VIOLANTE, Matheus Rocha

Avaliação do potencial agrogeológico das rochas ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo / Matheus Rocha Violante - - Rio de Janeiro: UFRJ/IGEO, 2024.

76p.: il.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mendes

Coorientadora: Msc. Magda Bergmann

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2024.

1. Geologia. 2. Agrogeologia. 3. Potencial agrogeológico. I. Julio Cezar Mendes, orient. II. Magda Bergmann, coorient. III. Título.

Matheus Rocha Violante

**Avaliação do potencial agrogeológico das rochas ultrabásicas a intermediárias da
Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado no Departamento de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Rio de Janeiro, como parte dos
requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Rio de Janeiro (RJ), ___ de _____ de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Julio Cezar Mendes

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dra. Silvia Regina de Medeiros

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Dra. Suzi Maria de Cordova Huff Theodoro

Universidade de Brasília

*Dedico este trabalho ao meu bisavô Oswaldo,
à minha bisavó Paulina, à minha tia-bisavó
Vanda e à minha avó Ana. Devo a eles uma
infância saudável e repleta de memórias felizes.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por torcerem por mim durante a longa jornada que foi o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço à minha mãe pela sensibilidade e olhar astuto. Ao meu pai, pela curiosidade e a paixão pelo aprendizado. À minha irmã, agradeço a paciência e sabedoria. À Deuzeni, agradeço o apoio diário e pelas risadas. Agradeço ainda à minha tia Fernanda, ao meu tio Carlos Alberto e ao meu primo “Cadu”. Devo um agradecimento ao meu primo Felipe, pela parceria. Agradeço também à Gisele por tudo que me ensinou e por ajudar a moldar este trabalho. À Amora e à Cleo, agradeço o carinho incondicional.

Gostaria de agradecer aos meus colegas de turma Mateus Ferreira, Sarah Aleixo, Amanda Mendes e Sofia D’Orsi por estarem ao meu lado desde tão cedo no curso e por todos os momentos que compartilhamos na sala de aula e nos trabalhos de campo. Deixo um agradecimento especial à Gabriela Carvalho, por compartilhar a mesma inexplicável paixão pela Geologia que eu tenho.

Agradeço também a todos os colegas de trabalho da NewFields Brasil por tornarem a minha experiência de estágio tão agradável e, também, pelas sugestões, críticas e dicas preciosas que causaram tantos impactos positivos em meu trabalho. São muitos que acompanharam o progresso do meu TCC, mas destaco aqui o apoio do Luciano, Hermann, Giovanna, Lucas, Dora, Nathália, Carlos, Gustavo, Cristina, Letícia e Vinicius.

Agradeço a todos os amigos que fiz ao longo dos anos, com os quais eu sempre pude contar, muitos deles contribuindo, mesmo que indiretamente, para esta monografia. Merecem menção especial Kai, Daniel, Caio, Otavio, Débora, Adriel, Mariana, Rafaela e Diana.

Agradeço aos meus ex-orientadores Julio Torres e Fabiano Faulstich, que me acolheram em seus projetos de pesquisa e compartilharam seus conhecimentos comigo. Agradeço também aos diversos professores que, ao longo do curso de graduação, contribuíram com a minha formação.

Por fim, agradeço aos meus orientadores, a Magda e o Julio, pela paciência e dedicação desde as etapas iniciais desta monografia. Devo a vocês a honra e o prazer de fazer um trabalho com esta temática, que considero de extrema importância para os tempos atuais.

RESUMO

O Espírito Santo (ES) apresenta uma grande oportunidade para o mercado de Fertilizantes Silicáticos (FSi), devido aos fatos de o estado ser o maior produtor de rochas ornamentais (RO) e o 2º maior produtor de café do Brasil. Considerando-se tanto a demanda nutricional de culturas agrícolas, como a geração de resíduos da exploração mineral, que representam passivos ambientais, vê-se no ES a possibilidade de integrar ambos os mercados, no intuito de viabilizar a certificação e comercialização de produtos derivados de resíduos da mineração, disponibilizando-os para produtores rurais da região. Entre as diversas normativas que regulamentam este tipo de produto, destaca-se a Instrução Normativa 05/2016 do MAPA, que regulamenta produtos “remineralizadores” (REM) como rochas silicáticas sujeitas apenas a beneficiamento do tipo cominuição e peneiramento. O potencial agrogeológico das rochas do ES ainda é pouco conhecido, mesmo se tratando de unidades litoestratigráficas amplamente exploradas no mercado de RO, como é o caso das rochas da Supersuíte G5. Com isto, objetivou-se no presente trabalho a compilação, análise e interpretação de dados geoquímicos, petrográficos e de logística, dos membros intermediários a ultrabásicos da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo, a fim de avaliar seu potencial agrogeológico. Para isso, foi utilizado o Mapa de Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo e foram levantados, na Agência Nacional de Mineração (ANM), processos minerários em fase de concessão de lavra, estipulando-se a distância entre lavras e polos agrícolas. Também foi feito um extenso levantamento bibliográfico, onde foram compilados dados mineralógicos e geoquímicos das unidades de interesse. Constatou-se que: aproximadamente metade das unidades-alvo é atualmente explorada para fins econômicos; diversas unidades-alvo são visadas pela indústria de RO e; que todas encontram-se próximas de pelo menos 5 municípios com participação significativa na produção de café nacional, em um raio de 60 km. As unidades-alvo apresentaram teores modais de quartzo não excedendo 20%, por vezes estando o mineral ausente. Os valores de soma de bases foram superiores a 9% em quase todas as amostras geoquímicas compiladas. Teores de elementos potencialmente tóxicos se encontram dentro dos limites da normativa, com exceção de uma amostra. As unidades Ribeirão Castelo, Laranjeiras, Norito São Gabriel da Baunilha, São Sebastião da Vala, Córrego Santo Amaro, Alto Caxixe Quente, Rio Sossego, Pedra do Dedo, Itarana e Novo apresentaram petrografia e geoquímica em conformidade com a normativa, o que demonstra favorabilidade ao emprego como REM, com potencial para fonte dos nutrientes K, Ca, Mg e Fe, além do elemento benéfico Si. Com

exceção da unidade São Sebastião da Vala, todas apresentaram também potencial para fonte dos nutrientes P e Mn. Nestas unidades, o mineral biotita esteve presente em teores próximos ou superiores a 10%, por vezes alcançando a faixa de 30%. Também foi observado favorabilidade ao emprego como FSi para as unidades Ribeirão do Peixe, Jacutinga, Baunilha, Córrego Bananal, Córrego Jaó e Córrego Aventureiro, com potencial para fonte dos nutrientes Ca, Mg, Fe e do elemento benéfico Si. De forma generalizada, observou-se um potencial agrogeológico elevado para todas as unidades estudadas, dos pontos de vista agrônômico, econômico e ambiental.

Palavras-chave: Agrominerais silicáticos; Espírito Santo; Supersuíte G5; Remineralizadores.

ABSTRACT

Espírito Santo (ES) presents a great opportunity for the Silica Fertilizer (SiF) market, since the state is the largest producer of natural stones and the second largest producer of coffee in Brazil. Considering both the nutritional demand of agricultural crops and the production of mining waste, which represents environmental liabilities, it's possible to see in the state of ES an opportunity to integrate both markets and to enable the certification and commercialization of products derived from mining waste, making them available to farmers in the region. Among the various regulations governing this type of product, MAPA's Normative Instruction 05/2016 stands out, this normative being responsible for the regulation of "remineralizers" (REM), defined as silicate rocks subject only to comminution and sieving processes. The agrogeological potential of the rocks present in the state of ES is still not well known, even when considering lithostratigraphic units that are widely prospected in the natural stones market, as is the case with the rocks of the G5 Supersuite. The aim of this study was to compile, analyze and interpret geochemical, petrographic and logistical data from the intermediate to ultrabasic members of the G5 Supersuite in the state of Espírito Santo, in order to assess their agrogeological potential. To this end, the Geology and Mineral Resources Map of the state of Espírito Santo was used, as well as data produced by the National Mining Agency regarding mining processes in the mining concession phase, with the distance between mining operations and agricultural centers being measured subsequently. An extensive bibliographic survey was also carried out, compiling mineralogical and geochemical data on the units of interest. It was found that: approximately half of the target units are currently being prospected; several target units have potential to be extracted and sold as natural stones and; that all of them are close to at least 5 municipalities with a significant contribution to the national coffee production, within a radius of 60 km. The target units showed modal quartz contents of no more than 20%, with the mineral being absent on some occasions. The sum of bases was higher than 9% in almost all the geochemical samples compiled. The levels of potentially toxic elements were within the regulatory limits, except for one sample. The units Ribeirão Castelo, Laranjeiras, Norito São Gabriel da Baunilha, São Sebastião da Vala, Córrego Santo Amaro, Alto Caxixe Quente, Rio Sossego, Pedra do Dedo, Itarana and Novo showed petrography and geochemistry in accordance with the regulations, which suggests that they are favorable for use as REM, being potential sources of the nutrients K, Ca, Mg and Fe, as well as the beneficial element Si. Apart from the São Sebastião da Vala unit, all of them also showed potential as a source of the

nutrients P and Mn. These units had biotite contents close to or above 10%, sometimes reaching the 30% range. The units Ribeirão do Peixe, Jacutinga, Baunilha, Córrego Bananal, Córrego Jaó and Córrego Aventureiro were also found to be favorable for use as SiF, being potential sources of the nutrients Ca, Mg, Fe and the beneficial element Si. Generally speaking, the units presented a favorable agrogeological potential, from agronomic, economic and environmental standpoints.

Keywords: Silicate Agrominerals; Espírito Santo; G5 Supersuite; Remineralizers.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – À esquerda, pilha de pó de rocha constituída por Finos de britagem/Remineralizador Micaxisto do Grupo Araxá, Pedreira Araguaia, Aparecida de Goiânia (GO). À direita, aplicação de remineralizador à base de micaxisto com calcareadeira na Fazenda Faedo, Santa Helena de Goiás (GO). Imagens gentilmente cedidas pela pesquisadora Magda Bergmann, a crédito do Serviço Geológico do Brasil-CPRM.	3
Figura 2 – Séries de reação em rochas subalcalinas. Fonte: modificado de Bowen (1922).....	4
Figura 3 – Mapa de localização do estado do Espírito Santo. Elaboração própria.	11
Figura 4 – Mapa do Espírito Santo indicando a produtividade de café por município com base nos dados de 2022, obtidos através do IBGE (2024). Elaboração própria.....	12
Figura 5 – Mapa de domínios tectônicos do Espírito Santo. Elaboração própria.	14
Figura 6 – Exemplo de rocha básica da Supersuíte G5, representada nas imagens pelo norito da borda do Complexo Intrusivo Venda Nova. À esquerda, observa-se o aspecto textural macroscópico da rocha, caracterizado por ser isotrópico, equigranular e fino. À direita, é possível observar a textura equigranular do norito em seção delgada (Pl – plagioclásio; Bt – biotita; Px – piroxênio). Imagens gentilmente cedidas pelo Prof. Dr. Julio Cezar Mendes.	17
Figura 7 – Mapa geológico simplificado do estado do Espírito Santo. Elaboração própria. ..	19
Figura 8 – Mapa esquemático representando o método empregado para a determinação do número de municípios com elevada produtividade de café a distâncias de 30, 60 e 120 km das unidades-alvo. Elaboração própria.	24
Figura 9 – Mapa representando a área dos parques estaduais de Forno Grande e de Pedra Azul, bem como as unidades dioríticas presentes nos complexos intrusivos Castelo e Aracê. Elaboração própria.....	32
Figura 10 – Mapa representando a proximidade entre as unidades-alvo e as malhas rodoviárias federal e do estado do Espírito Santo. Elaboração própria.....	58
Figura 11 – Mapa de potencial agrogeológico das unidades ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo. Elaboração própria.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Macronutrientes, Micronutrientes e Elementos Benéficos às plantas.....	2
Tabela 2 – Faixas de valores e classificação dos municípios brasileiros com base na produção de café para o ano de 2022.	23
Tabela 3 – Tabela de cálculo para ranqueamento das unidades-alvo com base no indicador “Facilidade de Implementação”	26
Tabela 4 – Tabela de cálculo para ranqueamento das unidades-alvo com base no indicador “Potencial de Mercado”.....	26
Tabela 5 – Teores mínimos dos nutrientes e elementos benéficos que podem ser declarados no rótulo dos remineralizadores com base na IN 05/2016 do MAPA.	29
Tabela 6 – Relação das unidades-alvo, com a indicação do Complexo Intrusivo e Suíte a qual estes pertencem.....	30
Tabela 7 – Área em superfície e número de processos minerários cadastrados das unidades-alvo.	31
Tabela 8 – Área de sobreposição entre as unidades Alto Caxixe Quente, Caxixe e Castelo com suas respectivas Unidades de Conservação (UC) e Zonas de Amortecimento (ZA).....	33
Tabela 9 – Área total dos cadastros do SIGMINE em regime de concessão de lavra que apresentaram sobreposição com as unidades-alvo.	34
Tabela 10 – Número de municípios produtores de café a 30, 60 e 120 km de distância das unidades-alvo.....	35
Tabela 11 – Unidades ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 com potencial para lavra de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo.	36
Tabela 12 – Ranqueamento e classificação das unidades-alvo de acordo com o parâmetro “Nível de Viabilidade”.....	36
Tabela 13 – Lista de nomes de minerais e grupos de minerais e suas abreviações correspondentes.	38
Tabela 14 – Potencial Agrogeológico das unidades-alvo que apresentaram dados geoquímicos, de acordo com os parâmetros estabelecidos na IN 05/2016.	62

LISTA DE SIGLAS

ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ANM	Agência Nacional de Mineração
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CI	Complexo Intrusivo
CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
EPT	Elementos Potencialmente Tóxicos
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FSi	Fertilizante Silicático
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
IN	Instrução Normativa
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
PIB	Produto Interno Bruto
REM	Remineralizador
RO	Rocha Ornamental
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIG	Sistema de Informações Geográficas
UC	Unidade de Conservação
ZA	Zona de Amortecimento

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Agronegócio no Brasil: o panorama atual dos Insumos Agrícolas.....	1
1.2	Insumos Agrícolas: Definições, Conceitos e Legislação.....	7
2.	CONTEXTO GEOECONÔMICO DO ESPÍRITO SANTO.....	11
2.1	Economia, Agricultura e Mineração no Espírito Santo.....	11
2.2	Geologia do Espírito Santo.....	13
3.	OBJETIVOS.....	19
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1	Potencialidade Logística.....	20
4.1.1	Área Representada em Mapa.....	21
4.1.2	Proximidade de polos agrícolas.....	22
4.1.3	Processos Minerários Ativos e Extração de Rochas Ornamentais.....	24
4.1.4	Ranqueamento das Unidades-alvo.....	25
4.2	Adequação às Normas e Padrões de Qualidade.....	27
4.2.1	Interpretação de Parâmetros Petrográficos.....	28
4.2.2	Interpretação de Parâmetros Geoquímicos.....	28
5.	RESULTADOS.....	29
5.1	Dados de Logística.....	31
5.2	Dados Petrográficos e Geoquímicos.....	37
5.2.1	Complexo Intrusivo Castelo.....	39
5.2.2	Complexo Intrusivo Várzea Alegre.....	40
5.2.3	Complexo Intrusivo Santa Angélica.....	41
5.2.4	Complexo Intrusivo Alto Chapéu.....	43
5.2.5	Complexo Intrusivo Aracê.....	44
5.2.6	Complexo Intrusivo Venda Nova.....	44
5.2.7	Complexo Intrusivo Mimoso do Sul.....	46

5.2.8	Complexo Intrusivo Lagoa Preta	47
5.2.9	Norito Baunilha.....	50
5.2.10	Complexo Intrusivo Rio Novo do Sul.....	51
5.2.11	Norito São Gabriel da Baunilha	51
5.2.12	Complexo Intrusivo Afonso Cláudio	52
5.2.13	Complexo Intrusivo Itapina	53
5.2.14	Complexo Intrusivo Ibituba	54
5.2.15	Recreio	54
5.2.16	Gabro Bergamo	54
5.2.17	Complexo Intrusivo Iconha.....	55
5.2.18	Olivina Piroxenito Vale do Canaã.....	55
5.2.19	Complexo Intrusivo Lajinha do Mutum.....	56
5.2.20	Diorito Concórdia	56
6.	DISCUSSÃO	56
6.1	Logística e Economicidade	56
6.2	Petrografia, Mineralogia e Geoquímica	58
6.3	Potencial Agrogeológico das unidades-alvo	62
7.	CONCLUSÃO	65
8.	RECOMENDAÇÕES	67
9.	REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

1.1 Agronegócio no Brasil: o panorama atual dos Insumos Agrícolas

O Brasil é um país que possui um robusto mercado agropecuário, sendo grande parte de seu Produto Interno Bruto (PIB) dependente da participação de atividades deste setor. Em 2022 o PIB do Brasil alcançou 9,9 trilhões de reais (IBGE, 2023), sendo que cerca de 19% desta quantia foi obtida através da contribuição do ramo agrícola do agronegócio brasileiro, incluindo os segmentos de insumos, primário, agroindústria e agrosserviços (CNA/CEPEA, 2023). Considerando o total de produtos agrícolas e produtos pecuários produzidos e vendidos em 2022, o Brasil é responsável por aproximadamente 11% de toda a produção mundial, além de representar cerca de 9% de toda a arrecadação do setor agrícola internacional (FAO, 2024).

Levando-se em conta a produção agrícola de alguns produtos específicos e de grande relevância para o cenário global, no ano de 2022, o Brasil se posicionou como o maior produtor mundial de soja, cana-de-açúcar e café, além de ocupar a terceira posição dentre os maiores produtores de milho. Em termos de exportação, não só foi o país que mais exportou soja e café em peso, como foi o país que mais arrecadou com estes produtos. Milho e açúcar refinado também garantiram ao Brasil o posicionamento dentre os três maiores do mundo, tanto no quesito de produtos exportados, como no valor total das arrecadações (FAO, 2024).

Apesar de se destacar no cenário mundial como um dos países que mais produz e vende produtos agrícolas, o Brasil possui uma desproporcional dependência por fertilizantes e outros insumos agrícolas que promovam um aumento da qualidade e rendimento agrícola do país, que por se situar em uma zona tropical, apresenta solos com elevada carência de nutrientes e com baixa capacidade de retenção de compostos essenciais ao desenvolvimento vegetal. A Tabela 1 apresenta a relação dos nutrientes e elementos benéficos necessários às plantas, conforme proposição de Dechen & Nachtigall (2007).

Aproximadamente um terço dos solos do Brasil pertencem à classe dos latossolos (Santos *et al.*, 2011), que por definição naturalmente apresentam baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e baixa saturação por bases (Lepsch, 2011). Ainda no levantamento de Santos *et al.* (2011), considerando-se o somatório dos Grandes Grupos de solos (3º nível hierárquico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos) que apresentam caráter distrófico (*i.e.* saturação de bases inferior a 50%), quase dois terços da área total do território brasileiro é representada por solos com limitações nutricionais.

Tabela 1 – Macronutrientes, Micronutrientes e Elementos Benéficos às plantas.

Categoria	Composto	Fórmula atômica
Macronutrientes	Nitrogênio	N
	Fósforo	P
	Potássio	K
	Cálcio	Ca
	Magnésio	Mg
	Enxofre	S
Micronutrientes	Boro	B
	Cloro	Cl
	Cobre	Cu
	Ferro	Fe
	Manganês	Mn
	Molibdênio	Mo
	Níquel	Ni
	Zinco	Zn
Elementos Benéficos	Sódio	Na
	Silício	Si
	Selênio	Se
	Cobalto	Co

Nota: Tabela elaborada a partir de informações disponíveis em Dechen & Nachtigall (2007).

A necessidade do Brasil por insumos agrícolas fica evidente em levantamentos como o da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2024), que indica que no ano de 2022 o Brasil produziu cerca de 7,45 Mt de fertilizantes intermediários e complexos NP, ao passo que importou cerca de 34,6 Mt fertilizantes intermediários e complexos NPK. Isto representa uma dependência externa de mais de 80% destes insumos. Este fato se deve em parte à produção pouco expressiva de minérios de potássio e fósforo no país, sendo estes dois nutrientes (K e P) de grande criticidade para a agricultura convencional. O potássio, em especial, apresenta um cenário pouco favorável para o Brasil, já que apenas uma planta produtiva de minério deste composto está atualmente em operação no país, com uma produção anual de aproximadamente 250 kt de K₂O (Silva, Silva & Gaia, 2024).

Considerando estas desvantagens estratégicas, um grupo de produtos que apresenta grande potencial para melhorar a situação do Brasil frente a estas necessidades e limitações é o dos insumos agrícolas constituídos por rochas e minerais silicáticos, aos quais comumente se atribui a denominação de “Agrominerais Silicáticos” (SGB-CPRM, 2023a), contemplando produtos denominados Fertilizantes Silicáticos (FSi) e Remineralizadores (REM) (Figura 1). A técnica de aperfeiçoamento e disponibilização de nutrientes ao solo através do uso de rochas silicáticas remonta aos estudos promovidos por cientistas do século XIX, mais especificamente os do francês M. Missoux e do alemão Julius Hensel (Pádua, 2012).



Figura 1 – À esquerda, pilha de pó de rocha constituída por Finos de britagem/Remineralizador Micaxisto do Grupo Araxá, Pedreira Araguaia, Aparecida de Goiânia (GO). À direita, aplicação de remineralizador à base de micaxisto com calcareadeira na Fazenda Faedo, Santa Helena de Goiás (GO). Imagens gentilmente cedidas pela pesquisadora Magda Bergmann, a crédito do Serviço Geológico do Brasil-CPRM.

Os remineralizadores, em especial, apresentam um grande diferencial na agricultura pois não apenas possuem a capacidade de fornecer diversos nutrientes e elementos benéficos para o desenvolvimento das plantas, como têm a capacidade de melhorar a qualidade do solo no longo prazo, como indicado na Lei nº 12.890/2013 (Brasil, 2013b), que descreve este produto da seguinte maneira:

XXXV - remineralizador - 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 da adição de macronutrientes e micronutrientes para as plantas, e promova a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo (Brasil, 2013b).

Uma problemática de fertilizantes convencionais são suas aceleradas taxas de dissolução, que fazem com que grande parte do material aplicado passe diretamente pelo sistema solo sem ficar retido em seu complexo de troca catiônica. Fertilizantes convencionais possuem uma solubilidade muito elevada, da ordem de aproximadamente 200 a 400 g/L a 20 °C (Borges & Silva, 2011). Considerando que o intemperismo de alguns minerais silicáticos formadores de rochas (Figura 2) pode ainda promover a formação de argilominerais que aumentam a capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos, fazendo com que estes tenham a capacidade de reter mais nutrientes, ficam evidentes os benefícios de longo prazo, ao potencialmente reduzirem os volumes de fertilizantes solúveis necessários à aplicação, bem como as perdas associadas à lixiviação destes.

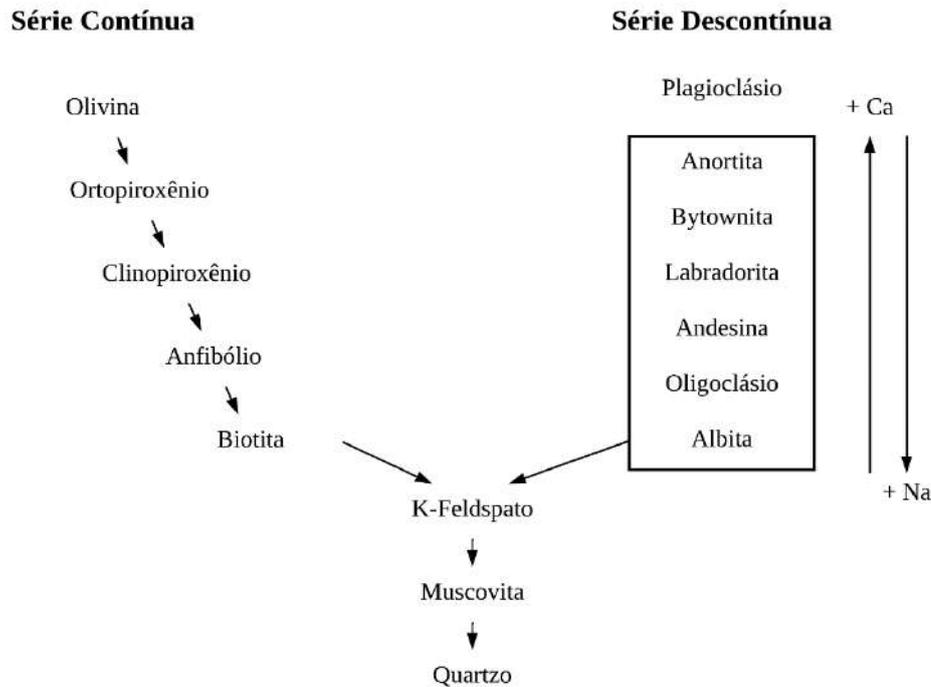


Figura 2 – Séries de reação em rochas subcalcinas. Fonte: modificado de Bowen (1922).

Outro ponto favorável é o fato de que as rochas silicatadas constituem a maioria das rochas que afloram na superfície terrestre e possuem uma abundância natural consideravelmente superior com relação às de rochas fosfáticas, carbonáticas e evaporíticas. No caso do Brasil, que possui uma grande geodiversidade, este fato torna-se ainda mais favorável.

Apesar de todos estes benefícios e vantagens, a aplicação destes materiais em áreas de cultivo agrícola é limitada, em parte, devido à própria taxa de dissolução reduzida dos minerais silicatados, tendo capacidade limitada de substituir a aplicação de fertilizantes convencionais, o que suscita a suplementação com outros insumos mais tradicionais. Também é importante considerar que a eficiência destes produtos está intimamente relacionada com a granulometria do material aplicado, cabendo ao fabricante cominuir as rochas para que atinjam os parâmetros definidos nas normativas (Brasil, 2016a).

Destaca-se ainda o fato de que a aplicação de produtos agrícolas derivados de rochas silicáticas requer maiores volumes para que estes demonstrem eficiência agrônômica. Para alcançar a eficiência mínima destes produtos, estudos como os de Beneduzzi (2011) e Pádua (2012) propõem o uso de rochas moídas em teores variando entre, aproximadamente, 4 a 5

toneladas por hectare em seus ensaios. Sendo assim, a relação custo-benefício de agrominerais silicáticos tende a ser menor do que a de fertilizantes convencionais, a se depender do preço de cada produto, principalmente quando há a necessidade de cominuí-las a faixas granulométricas adequadas, a fim de acelerar a disponibilização dos nutrientes às plantas. Custos com o transporte deste tipo de material tendem a ser maiores devido ao maior volume de aplicação, o que torna a logística e as despesas com o traslado através de longas distâncias menos viáveis.

Considerando todos os pontos positivos e negativos levantados, o diagnóstico geral é de que as rochas silicáticas são abundantes na crosta terrestre e são amplamente distribuídas nas áreas continentais, sendo que o seu emprego na agricultura pode servir para suprir demandas locais, o que amortece a problemática dos custos de transporte e auxilia na geração de empregos em zonas rurais ao criar a demanda de profissionais que atendam à demanda das operações de produção, comercialização e distribuição de agrominerais silicáticos, aquecendo a economia de áreas com menor densidade populacional. A lenta disponibilização de nutrientes é um grande diferencial destes produtos, impactando na melhoria gradativa da qualidade do solo a longo prazo.

À parte destes fatores agronômicos e econômicos, uma vantagem do emprego de rochas silicáticas na agricultura nacional é o fato de que diversos estados extraem material mineral silicático para os mais variados fins, gerando neste processo quantidades significativas de resíduos, que comumente são armazenados em pilhas. Tais resíduos geram passivos ambientais ou são destinados a outras indústrias, raramente sendo aproveitados na agricultura, mesmo quando apresentam potencial para tal, tendo em vista a adequação às normativas cabíveis.

A mineração de rochas ornamentais, por exemplo, pode chegar a ter perdas da ordem de cerca de 20 a 40% de material rochoso ao longo de seu processo produtivo (Rocha & Sousa, 2010; Santos, Destefani & Holanda, 2013). A indústria de agregados é também uma indústria com grande presença no Brasil, tendo sido responsável pela produção de 192 Mt de rochas cominuídas em 2009 apenas (Ferreira & Junior, 2012). Ambas as indústrias, tanto pelo volume de produção quanto pelo processo produtivo que incorre em perdas significativas dos insumos minerais utilizados, têm o potencial de gerar volumes significativos de resíduos, dos quais o aproveitamento costuma ser limitado. Sendo assim, estudos que viabilizem a aplicação destas substâncias como insumos que melhorem o rendimento e qualidade dos produtos gerados pela agricultura são de suma importância para o futuro do país.

Com isto, as rochas silicáticas aplicadas à agricultura ainda contribuem no âmbito social e ambiental, sendo sua pesquisa de grande importância para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos pela Organização das Nações Unidas (Nações Unidas no Brasil, 2024). O próprio Serviço Geológico do Brasil, dentro de sua estratégia, já considera esta temática, como é possível observar em produtos gerados pelo próprio órgão, como a frente de pesquisa “SGB Sustentável”, que visa identificar a contribuição de cada área do setor de pesquisa e desenvolvimento geológico desenvolvido no país, a fim de progredir nas pautas estabelecidas pelos ODS (SGB-CPRM, 2022).

Na área de atuação da Agrogeologia (Blaskowski *et al.*, 2020), se destaca a contribuição com a agenda dos Objetivos 1, 2, 8, 12 e 15, que tratam, respectivamente, da: erradicação da pobreza; agricultura sustentável; promoção do crescimento econômico; consumo e produção responsáveis; e conservação da vida terrestre. Ainda os objetivos 9, 14, e 17 podem ser alcançados com o estudo e emprego dos agrominerais silicáticos, já que estes: fortalecem a pesquisa científica, incentivam a inovação e proporcionam a possibilidade da reabilitação de indústrias, tornando-as sustentáveis (ODS 9); conferem uma melhora na retenção de nutrientes no solo, podendo ainda contribuir com a prevenção ou redução da poluição marinha causada por grande volume de nutrientes que são carregados através da lixiviação de solos (ODS 14); e promovem o desenvolvimento, a transferência, a disseminação e a difusão de tecnologias ambientalmente corretas (ODS 17).

Apesar do grande volume de rochas silicáticas lavrado pelas indústrias de Rochas Ornamentais e de Agregados, até a data de publicação deste trabalho, não existem remineralizadores certificados cadastrados para o Estado do Espírito Santo, conforme consulta ao Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários (MAPA, 2023). Isto se deve, em parte, devido ao conhecimento limitado do potencial agrogeológico das rochas e resíduos atualmente sendo produzidos no estado. Se mostra evidente, então, a necessidade de estudos como o presente neste trabalho, que visam a identificação de materiais minerais com potencial de se tornarem produtos agrícolas acessíveis aos produtores locais, simultaneamente aumentando as arrecadações do setor mineral e diminuindo os impactos ambientais causados por esta indústria.

1.2 Insumos Agrícolas: Definições, Conceitos e Legislação

Para alcançar o entendimento de como agrominerais silicáticos podem contribuir para a agricultura brasileira, é necessário possuir uma compreensão de como estes são definidos e classificados de acordo com a legislação e normas técnicas do país. No que tange a regulamentação de produtos e insumos agrícolas, o setor público responsável pela ordenação e definição de critérios normativos é o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), antigo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Os tipos de produtos agrícolas definidos por lei são: fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores e substratos para as plantas. A normativa legislativa que rege a elaboração, distribuição e venda destes produtos foi inicialmente estabelecida pela Lei nº 6.894/1980 (Brasil, 1980), que teve redação dada pela Lei nº 6.934/1981 (Brasil, 1981) e posteriormente pela Lei nº 12.890/2013 (Brasil, 2013b), esta última sendo importante pois define e inclui o “remineralizador” no rol de produtos agrícolas. O Decreto nº 4.954/2004 (Brasil, 2004) originalmente aprovou o Regulamento da Lei nº 6.894/1980, tendo redação dada posteriormente pelo Decreto nº 8.059/2013 (Brasil, 2013a) e em seguida pelo Decreto nº 8.384/2014 (Brasil, 2014).

Considerando-se as definições de cada um destes produtos, pode-se observar que a maior parte deles pode ser constituída parcial ou totalmente de matéria mineral, destacando-se as seguintes classes: Remineralizadores; Fertilizantes (Fertilizantes Minerais Simples, Fertilizantes Minerais Mistos e Fertilizantes Organominerais); Corretivos (Corretivos de Acidez e Condicionadores do Solo) e; Substratos para Plantas. Além destes produtos, dos quais as especificações são contempladas em diversas instruções normativas emitidas pelo MAPA, produtos constituídos por material mineral também podem ser abarcados na definição de Materiais Secundários e de Produtos Novos (Brasil, 2004).

Os Remineralizadores (REM) são uma classe de produto instituída recentemente na legislação brasileira e apresentam os maiores atrativos para o emprego de rochas silicáticas, considerando todos os produtos contemplados na Lei nº 6.894/1980 (Brasil, 1980) e suas subsequentes redações. São definidos como materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução e classificação de tamanho de partícula por processos mecânicos e que, aplicados ao solo, alterem os seus índices de fertilidade, por meio da adição de macronutrientes e micronutrientes para as plantas, e que possuam a capacidade de promover a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo. A Instrução Normativa

(IN) 05/2016 (Brasil, 2016a) é responsável por definir as exigências para o enquadramento de produtos nesta classe.

Na classe dos Fertilizantes, definidos como substâncias minerais ou orgânicas, naturais ou sintéticas, fornecedoras de um ou mais nutrientes de plantas (Brasil, 2004), destacam-se os Fertilizantes Minerais, sejam os Simples, formados por apenas um composto químico, sejam os Mistos, formados pela mistura de dois ou mais fertilizantes minerais. Ambos são contemplados na IN 39/2018 (Brasil, 2018), que revogou a IN 46/2016 (Brasil, 2016c). Dentro das especificações de Fertilizantes Minerais Simples, são observados fertilizantes obtidos a partir de reações ou tratamento físico de rochas, minerais silicatados e minérios, havendo uma vasta gama de categorias para produtos obtidos a partir de rochas fosfáticas.

Também a classe de Fertilizantes Organominerais pode ser constituída parcialmente de material mineral, sendo a produção destes insumos gerada a partir da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos (Brasil, 2004). A IN 61/2020 (Brasil, 2020b), que revogou a IN 25/2009 (Brasil, 2009), trata sobre fertilizantes orgânicos e biofertilizantes e indica que produtos que utilizam em sua composição matéria-prima de origem mineral gerada em atividades extrativas e industriais podem ser enquadrados na Classe “A” de Fertilizantes Orgânicos, devendo atender às exigências definidas em lei. Sendo assim, resíduos de mineração podem ser empregados na composição deste tipo de produto, enquadrando-se como Fertilizantes Organominerais Classe “A”.

Outras categorias de produtos também são do interesse do setor de Agrominerais, como é o caso dos Materiais Secundários e Produtos Novos. Estas duas categorias não apresentam instruções normativas ou documentos técnicos que determinem suas especificações, porém podem ser consideradas como alternativas viáveis.

De acordo com o Decreto nº 4.954/2004 (Brasil, 2004), Materiais Secundários são aqueles obtidos em processo industrial, que contenham nutrientes de plantas ou outros componentes que promovam a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas do solo. Este tipo de produto pode ser comercializado caso seja concedida uma permissão, contanto que o material em questão se adeque às normas vigentes relacionadas a contaminantes e elementos tóxicos.

Art 2º, inciso IV - Gerador de Material Secundário: pessoa física ou jurídica, pública ou privada, cadastrada no MAPA, responsável por atividades ou empreendimentos que gerem ou vendam subprodutos autorizados, que possam ser destinados de forma segura para uso agrícola, direta ou indiretamente, com a função de fertilizante, corretivo, remineralizador e substrato para plantas ou como matéria-prima para a fabricação destes (Brasil, 2016b).

Produtos que não possuam antecedentes de uso e eficiência agrônômica comprovada no país ou cujas especificações técnicas não estejam contempladas nas disposições vigentes podem se enquadrar como Produtos Novos, tendo seu registro concedido após a confecção de um relatório técnico-científico, emitido por órgão brasileiro de pesquisa oficial ou credenciado, que ateste a viabilidade e eficiência de seu uso agrícola (Brasil, 2004).

Considerando-se então matérias primas oriundas de rochas silicáticas e dos rejeitos de mineração produzidos a partir da exploração destas rochas, tem-se quatro principais produtos fornecedores de nutrientes às plantas que, por lei, podem ser constituídos deste tipo de material: os Remineralizadores, os Fertilizantes Minerais Simples, os Materiais Secundários e os Produtos Novos. Além destes, os Fertilizantes Minerais Mistos e Fertilizantes Organominerais, constituídos de uma mistura de dois ou mais materiais, podem incorporar em parte de sua composição material mineral silicático.

Há um certo destaque para a classe dos REM, pois além de fornecerem nutrientes e elementos benéficos às plantas, têm ainda a capacidade de melhorar a qualidade dos solos. Os outros produtos podem ser considerados como alternativas, caso uma determinada substância não se adeque nos critérios estabelecidos na IN 05/2016 (Brasil, 2016a), mas possua as qualidades para se enquadrar nas outras classes de produtos.

Caso um material silicático não se enquadre em nenhuma das definições estabelecidas por lei, há ainda a possibilidade de se promover a mistura deste com outros materiais, buscando atingir uma composição média onde os parâmetros definidos na legislação estejam todos conformes. Este pode ser o caso em que a elaboração de um produto das classes dos Fertilizantes Minerais Mistos ou Fertilizantes Organominerais se torna interessante, já que ambas, por definição, podem incorporar material mineral silicático parcialmente em sua formulação.

Tem-se ainda, que para caracterizar um produto de origem mineral com relação à sua aplicação como FSi ou REM, faz-se necessária a parametrização de algumas de suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas. Os minerais presentes na rocha ou no produto devem possuir propriedades favoráveis à liberação dos nutrientes contidos em suas estruturas cristalinas. Minerais com baixas taxas de dissolução podem não apresentar uma

biodisponibilidade de seus nutrientes, mesmo que os contenham em abundância dentro de suas estruturas.

Os produtos também devem apresentar composição química que satisfaça alguns critérios essenciais, especialmente no que se refere à presença de macro e micronutrientes em teores adequados para nutrição das plantas, e à presença de elementos potencialmente tóxicos (EPT) em quantidades toleráveis, impreterivelmente abaixo dos limites estabelecidos pelas legislações vigentes. Possuem especial relevância as rochas que contêm macronutrientes de abundância natural limitada, como o potássio e o fósforo, que dificilmente estão presentes em concentrações elevadas nas rochas silicáticas.

Além destas características inerentes às rochas, também deve ser considerada a granulometria do material que será utilizado na aplicação. A granulometria adequada será obtida após o processamento das mesmas em britadores ou moinhos. Finos de britagem da indústria de agregados para a construção civil são materiais atrativos, já que há economia com o tratamento físico da rocha, onde rochas britadas da classe “Pedrisco”, de diâmetro entre 0,075 mm e 4,8 mm, e da classe “Pó de Pedra”, com diâmetros inferiores a 0,075 mm (ABNT, 1993) apresentam tamanhos em acordo com o requerido no Anexo I da IN 05/2016 (Brasil, 2016a).

Por fim, a etapa que garante a eficácia destes potenciais insumos agrícolas é a dos ensaios de eficiência agrônômica, que no caso dos FSi e REM são um requisito para que estes sejam registrados como produtos reconhecidos pelo MAPA. Para Materiais Secundários, Produto Novos e em alguns casos para os REM, há a exigência de artigo publicado comprovando o desempenho agrônômico destes. No caso dos REM, pode ser observado no texto disposto no Artigo 9º da IN 05/2016 (Brasil, 2016a) que:

II - para os produtos que não foram testados pela pesquisa brasileira, sem prejuízo do disposto no art. 4º desta Instrução Normativa, o registro somente será concedido após a realização de ensaios agrônômicos por instituições oficial ou credenciada de pesquisa, conduzidos com plantas e obrigatoriamente em casa de vegetação ou a campo, podendo esses ensaios ser complementados com testes de incubação ou em colunas de lixiviação, que demonstrem de forma conclusiva que o produto se presta ao fim a que se destina (Brasil, 2016a).

2. CONTEXTO GEOECONÔMICO DO ESPÍRITO SANTO

2.1 Economia, Agricultura e Mineração no Espírito Santo

O estado do Espírito Santo (Figura 3) apresenta uma grande oportunidade para o desenvolvimento da indústria nacional de agrominerais silicáticos, pois possui uma interface peculiar entre suas indústrias mineira e agrícola. Por um lado, observa-se uma demanda local de insumos agrícolas por parte das atividades agrônômicas e, por outro, é possível constatar uma produção de passivos ambientais na forma de resíduos de mineração que apresenta um potencial ainda pouco estudado para o emprego como fontes alternativas de nutrientes.



Figura 3 – Mapa de localização do estado do Espírito Santo. Elaboração própria.

Apesar do Espírito Santo representar uma pequena porção do território brasileiro (IBGE, 2022a; Brasil, 2020a), perfazendo pouco mais de 0,5% da área do país (cerca de 46 mil km²), o estado contribui com aproximadamente 2% das arrecadações agrícolas nacionais (IBGE, 2024). Dados do IBGE (2024) indicam que o estado é o segundo maior produtor de café do país, tendo

arrecadado em 2022 cerca de 12,3 bilhões de reais apenas com esta cultura. O café, além de ser uma *commodity* importante, ainda se posiciona em quarto lugar na lista dos produtos agrícolas que mais contribuem com a arrecadação nacional, tendo sido responsável em 2022 por 6,34% de todo o valor produzido das culturas agrícolas no país, ficando atrás apenas da soja, do milho em grão e da cana-de-açúcar.

Além do café, o Espírito Santo se posiciona como o maior produtor de mamão e de pimenta-do-reino do país, representando, respectivamente, aproximadamente 49% e 63% do total arrecadado em todo o Brasil em 2022 com estas culturas. Juntos, o café, o mamão e a pimenta-do-reino são responsáveis por cerca de 85% das arrecadações do estado no setor agrícola (IBGE, 2024). A produção de café no ES por município pode ser observada na Figura 4 e possui alta correlação com as áreas de Cultura destacadas no estudo de Lorena *et al.* (2013), localizadas principalmente nas microrregiões de Polo Linhares/Litoral Norte e Sudoeste Serrana/Caparaó.

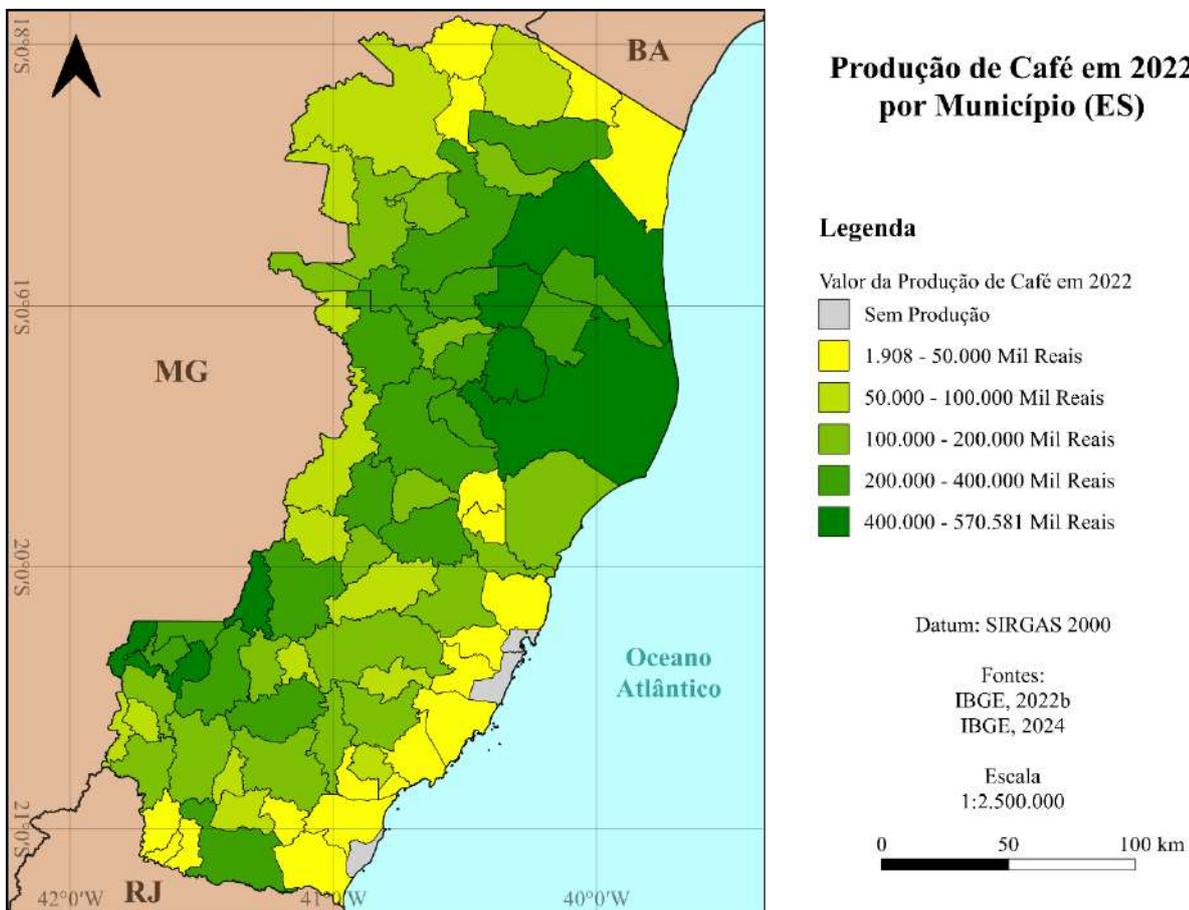


Figura 4 – Mapa do Espírito Santo indicando a produtividade de café por município com base nos dados de 2022, obtidos através do IBGE (2024). Elaboração própria.

Com relação ao setor mineral, dentre todos os estados brasileiros, o Espírito Santo é o maior produtor do setor de Rochas Ornamentais (RO), tendo contribuído em 2019 com uma produção de 2,8 Mt deste bem mineral, representando aproximadamente um terço da produção total nacional (ABIROCHAS, 2021b). O Brasil se posiciona como 5º principal país produtor e exportador de rochas ornamentais do mundo, e considerando a produção global de rochas ornamentais, que alcançou em 2019 um total de 154,5 Mt de produto, o estado do Espírito Santo foi responsável por 1,8% de toda a produção mundial, neste mesmo ano (ABIROCHAS, 2021a).

Ainda em termos de produção mineral, destaca-se o setor de Agregados, em especial a produção de brita e cascalho, que apesar não posicionar o Espírito Santo como uma potência nacional tão grande quanto o setor de RO, apresenta uma produção elevada, ficando à frente de mais da metade dos estados brasileiros (Pinheiro, 2018). No Espírito Santo, a brita e o cascalho são os produtos minerais que representam no estado o maior volume de produção e são responsáveis pela segunda posição no ranking em termos de valor de produção. Somente em 2014, o Espírito Santo produziu aproximadamente 8,3 Mt de brita e cascalho, o que correspondeu a cerca de 48% do volume total de material mineral produzido pelo estado neste ano, sendo este três vezes superior ao volume de rochas ornamentais produzidas no mesmo intervalo temporal. Juntos, os setores de Rochas Ornamentais e de brita e cascalho foram responsáveis por aproximadamente 64% do volume de material mineral produzido no estado, que somados correspondem a mais de dez milhões de toneladas de produto (Fernandes & Marques, 2016).

2.2 Geologia do Espírito Santo

O Espírito Santo apresenta quatro principais domínios tectônicos, que serão abordados nesta seção do mais antigo ao mais recente, podendo ser observados na Figura 5. Estes domínios são classificados como: Fragmentos da Crosta Inferior; Bacias Sedimentares Proterozoicas; Granitoides do Orógeno Araçuaí; e Coberturas Cenozoicas (Vieira, 2018). O estado do Espírito Santo está inserido no contexto geológico da faixa móvel Araçuaí, evento tectono-metamórfico mais importante neste território, tendo se desenvolvido no intervalo de tempo entre o Neoproterozoico tardio e o Cambriano (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

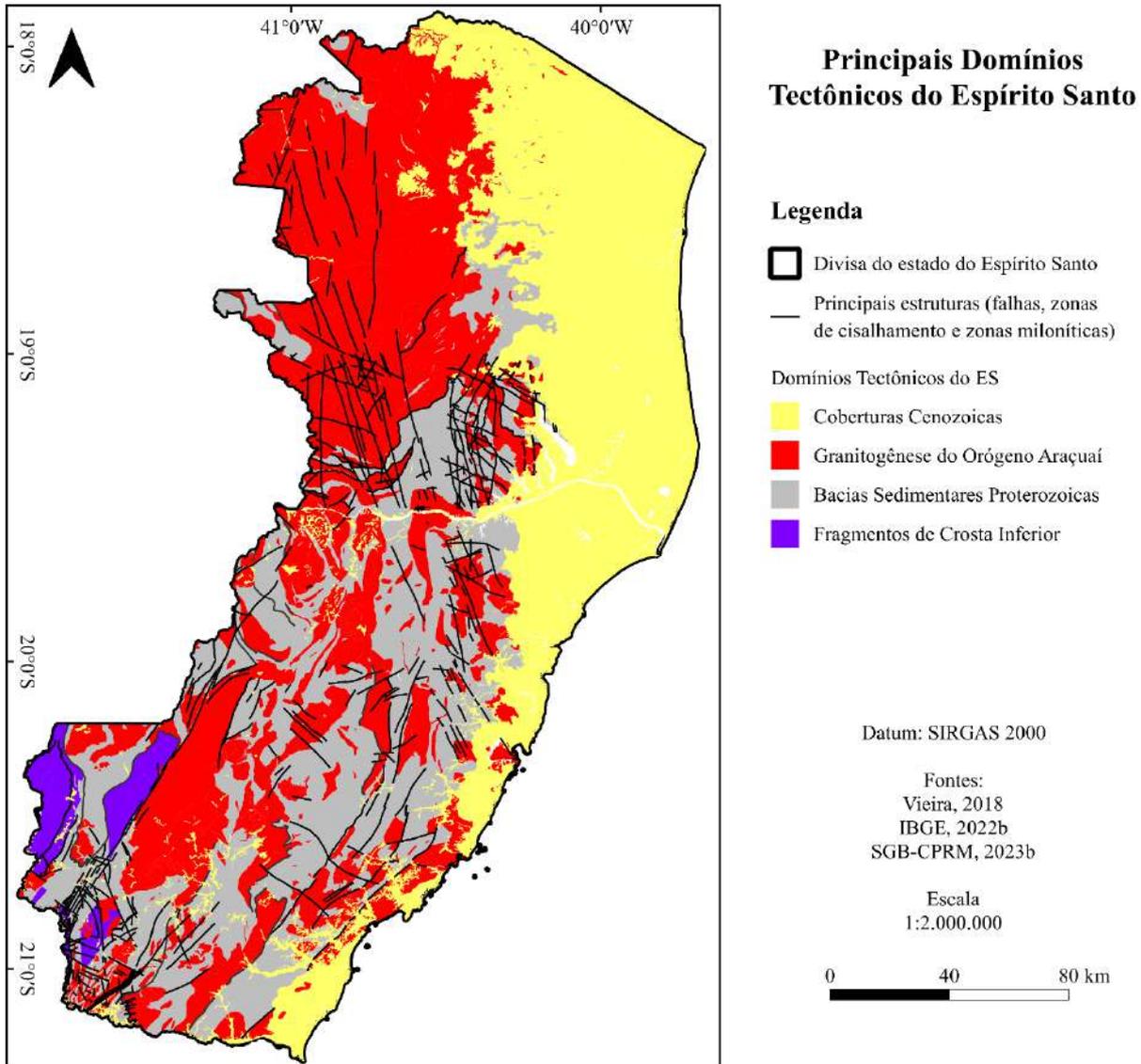


Figura 5 – Mapa de domínios tectônicos do Espírito Santo. Elaboração própria.

As rochas mais antigas do estado ocorrem em sua porção sudoeste, onde afloram *inliers* do embasamento da Faixa Móvel Araçuai, consistindo em rochas com idade Paleoproterozoica, que correspondem a ortognaisses, charnokitos, metabasitos e rochas paraderivadas, que foram retrabalhadas posteriormente no Brasiliano, durante a orogenia Araçuai-Congo Ocidental, tendo sido submetidas a metamorfismo de alto grau, na fácies granulito (Vieira & Menezes, 2015; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001). Rochas como as do Complexo Juiz de Fora, que apresentam protólitos magmáticos com idades entre 2,2 Ga e 2,0 Ga foram interpretadas como pequenos segmentos do Orógeno Transamazônico (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001).

A faixa móvel Araçuai é compreendida como a contraparte Sul-americana da faixa móvel do Congo Ocidental, presente na África, sendo ambos correlacionados ao Orógeno

Araçuaí-Congo Ocidental, se conectando ao sul com o sistema orogênico Brasileiro-Panafricano. Este sistema orogênico foi desenvolvido de forma confinada em um embaiamento cratônico durante o Neoproterozoico, devido ao fechamento de uma bacia oceânica e desenvolvimento de arco magmático, representando um Ciclo de Wilson completo em uma das ramificações do Oceano Adamastor. A Faixa Móvel Araçuaí apresenta um *trend* estrutural NNE / N-S, que se distingue do *trend* NE observado a sul, na faixa móvel Ribeira (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001).

A formação da faixa móvel se iniciou com um evento extensional, que durou do final do Mesoproterozoico ao início do Neoproterozoico, culminando na abertura de um rifte continental, que posteriormente transicionou a um sistema de margem passiva, finalmente vindo a se fechar novamente, gerando no Brasileiro um arco magmático que deu origem a diversos plútons de composições variadas (Vieira & Menezes, 2015; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001).

Unidades metassedimentares, representadas predominantemente por kinzigitos e gnaisses aluminosos, com a eventual presença de quartzitos, foram geradas do Toniano ao Ediacarano. Ocorrem também rochas metamórficas de protólitos derivados da sedimentação química, como mármore, rochas calcissilicáticas e cherts. Também são observadas unidades anfíbolíticas ocorrendo intercaladas aos pacotes metassedimentares, sendo estas interpretadas como rochas metaultramáficas de fundo oceânico. Algumas unidades mais restritas apresentam protólitos com caráter ígneo, geradas em ambientes tectônicos de arcos magmáticos que evoluíram desde intraoceânicos até cordilheiranos (Vieira & Menezes, 2015).

Dentre as rochas deste domínio tectônico de bacias sedimentares proterozoicas, destaca-se a distribuição geográfica extensa de rochas do Grupo São Fidélis, Grupo Italva e Complexo Nova Venécia, interpretados como bacias sedimentares do tipo retroarco, que afloram em toda a porção central e sul do estado. A sudoeste afloram também rochas do Grupo Bom Jesus do Itabapoana, Grupo Raposo e Grupo Rio Doce, interpretados como bacias sedimentares do tipo antearco (Vieira & Menezes, 2015; Vieira, 2018).

Posteriormente, durante a fase de fechamento do Oceano Adamastor, ao longo de todo o desenvolvimento do Orógeno Araçuaí, houve a formação de rochas ígneas em grandes quantidades e com ampla diversidade composicional. Pedrosa-Soares *et al.* (2011) definem como “Supersuítas” as associações de rochas ígneas desta faixa móvel, geradas em diferentes épocas geológicas e sob diferentes estágios evolutivos do Orógeno Araçuaí, nomeando-as

cronologicamente, da G1 (mais antiga) à G5 (mais recente) e agrupando-as principalmente de acordo com suas similaridades petrológicas e geoquímicas.

Cada uma destas Supersuítas desenvolveu-se durante um dos quatro estágios do evento orogênico Brasileiro, que foram responsáveis pela formação de granitos *l.s.* com características petrográficas e geoquímicas distintas. Os principais estágios consistiram nas fases pré-colisional (*c.* 630-585 Ma), sin-colisional (*c.* 585-560 Ma), tardi-colisional (*c.* 560-530 Ma) e pós-colisional (*c.* 530-480 Ma). Dentro do contexto do estado do Espírito Santo, todas as supersuítas afloram, com exceção da Supersuíta G4, que possui características semelhantes à G5 e, assim como esta, se desenvolveu no estágio pós-colisional. As rochas da Supersuíta G4 são encontradas mais a oeste, próximas ao setor centro-norte do orógeno, aflorando principalmente no leste do estado de Minas Gerais (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

A Supersuíta G1 é de caráter pré-colisional e representa a construção de um arco magmático formado no contexto de uma margem continental ativa, gerado a partir da subducção de litosfera oceânica. Consiste predominantemente de *stocks* e batólitos de composição tonalítica a granodiorítica, com autólitos e fácies máficas a dioríticas, deformados em escala regional, apresentando foliação. São rochas cálcio-alcálicas de médio a alto K e metaluminosas, que foram geradas principalmente a partir da gênese de magma derivado da fusão do embasamento Paleoproterozoico. (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011). Rochas desta unidade ocorrem principalmente na porção Centro-sul do Espírito Santo (Vieira, 2018).

A Supersuíta G2 corresponde à fase sin-colisional, onde a granitogênese se deu a partir da fusão parcial de pacotes metassedimentares associado ao espessamento da crosta, durante o clímax do orógeno. São rochas predominantemente peraluminosas, apresentam foliação metamórfica e são estruturalmente heterogêneas, de modo geral. No norte do estado, esta supersuíta é constituída principalmente por granitos peraluminosos tipo do S; ao sul do estado ocorrem também granitos metaluminosos do tipo I formados pela migmatização do embasamento Paleoproterozoico (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011). Ocorrem principalmente na porção noroeste do estado do Espírito Santo, onde a Suíte Carlos Chagas se destaca por ocupar uma área considerável (Vieira, 2018).

Durante o período transicional do orógeno, entre os estágios tardi-colisional e pós-colisional do orógeno, houve a formação das rochas da Supersuíta G3, que é uma unidade menos volumosa, e apresenta ocorrência muito limitada no estado do Espírito Santo (Vieira, 2018), comumente ocorrendo intimamente associada aos granitos da Supersuíta G2, já que a

fusão de granitos desta suíte foi responsável pela origem dos leucogranitos observados na G3. Este litotipo é o mais comum nesta Supersuíte, apresentando conteúdo variado de granada, cordierita e sillimanita, ocorrendo em maior frequência na porção norte do estado. Já na porção sul, ocorrem também charnokitos e enderbitos, principalmente ao longo da região costeira. Os granitos desta unidade são do tipo S, subalcalinos, peraluminosos e não apresentam foliação como as supersuítes G1 e G2 (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

A Supersuíte pós-colisional G5 registra o colapso gravitacional do orógeno, contemporâneo à elevação da astenosfera. Inclui diversos corpos ígneos como suítes, batólitos, plútons zonados e complexos, soleiras e diques, apresentando *trend* tectônico distinto e em discordância com as rochas adjacentes, ou ocorrendo como corpos concordantes que intrudem as encaixantes. A maioria destes corpos ocorre ao leste e norte do arco magmático pré-colisional representado pelas rochas da Supersuíte G1 (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011). No Espírito Santo, esta unidade ocorre como corpos isolados ao longo de todo o estado, com exceção de sua porção nordeste (Vieira, 2018).

As rochas desta Supersuíte (Figura 6) variam em composição desde gabro-noritos a granitos, apresentando frequentemente fácies enderbíticas e charnokíticas, o que indica cristalização sobre altas pressões de CO₂. Comumente apresentam cristais orientados paralelamente ao fluxo ígneo, de textura equigranular, sendo caracterizadas como granitoides do tipo I (predominante) ao tipo A, metaluminosos a peraluminosos, variando de cálcio-alcalinos a alcalinos (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).



Figura 6 – Exemplo de rocha básica da Supersuíte G5, representada nas imagens pelo norito da borda do Complexo Intrusivo Venda Nova. À esquerda, observa-se o aspecto textural macroscópico da rocha, caracterizado por ser isotrópico, equigranular e fino. À direita, é possível observar a textura equigranular do norito em seção delgada (Pl – plagioclásio; Bt – biotita; Px – piroxênio). Imagens gentilmente cedidas pelo Prof. Dr. Julio Cezar Mendes.

O magma que originou estas rochas teve contribuições de fontes distintas, apresentando contribuições máficas de um manto enriquecido, fusão parcial da crosta continental predominantemente metaluminosa e desidratação por fusão de rochas levemente peraluminosas. Estudos geoquímicos das rochas desta unidade indicam composição bimodal, podendo ser observadas evidências de mistura de magmas e *mingling* (Pedrosa-Soares *et al.*, 2011).

Estas rochas ocorrem principalmente como plútons profundamente erodidos, representando um nível crustal inferior, tendo como principais encaixantes paragneisses proterozoicos e rochas das supersuítas G1 e G2. O estrato crustal erodido expõe as raízes destes diápiros magmáticos, bem como seus zonamentos inversos, onde os núcleos são compostos por rochas de composição máfica a intermediária e as bordas apresentam composição sienomonzônica a granítica.

Após um grande hiato entre as últimas unidades representativas da Supersuíte G5, são observadas rochas de idade Paleógena, no litoral norte do estado, representadas pela Fm. Abrolhos e pela Fm. Rio Doce. A Fm. Abrolhos ocorre principalmente *offshore*, abaixo do nível do mar, distando de alguns quilômetros do litoral capixaba, sendo composta por rochas piroclásticas, vulcanoclásticas, vulcânicas máficas e sedimentos associados, originadas por vulcanismo básico, intraplaca, de caráter toleítico a alcalino em regime distensivo. Já as rochas da Fm. Rio Doce afloram na porção continental do estado de forma confinada, sendo compostas principalmente de arenitos brancos, representativas de um aulacógeno ou rifte abortado, que provavelmente se desenvolveu no paleodelta do Rio Doce (Vieira & Menezes, 2015; Vieira, 2018).

Mais adiante na história geológica do estado, ocorrem rochas sedimentares cenozoicas representadas pelo Grupo Barreiras, que afloram em uma faixa aproximadamente alongada no sentido N-S, na porção oriental do estado, ocupando uma maior área em sua porção nordeste. Esta unidade é constituída de arenitos argilosos, finos e grossos, mal selecionados e com intercalações de argilitos, apresentando cores variegadas e grande diversidade faciológica. Seus depósitos são muito ricos em ferro, podendo apresentar concreções ou até crostas ferruginosas em seu perfil estratigráfico (Vieira & Menezes, 2015).

Por fim, as unidades mais recentes do Espírito Santo são compostas de depósitos superficiais de sedimentos inconsolidados, representadas por coberturas detrítico-lateríticas pliocênicas e por coberturas quaternárias constituídas de depósitos marinhos litorâneos,

fluviais, aluviais e coluviais, além de depósitos de pântano, manguezais, paleocanais e de cordões litorâneos (Vieira & Menezes, 2015). A Figura 7 apresenta o mapa geológico do Espírito Santo de forma simplificada.

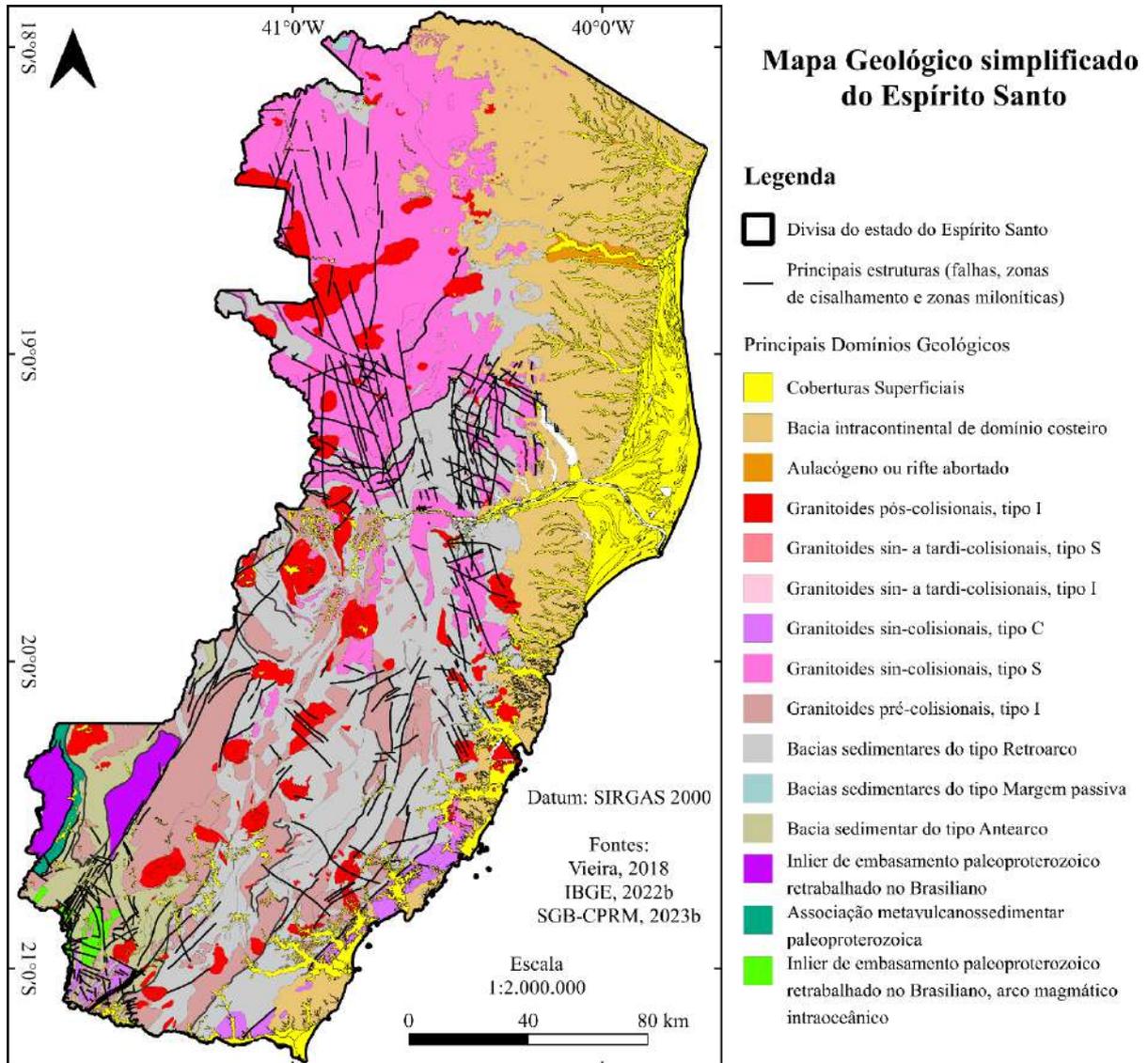


Figura 7 – Mapa geológico simplificado do estado do Espírito Santo. Elaboração própria.

3. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho foi efetuar uma análise e interpretação de dados geoquímicos, petrográficos e de logística, referentes às unidades intermediárias a ultrabásicas da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo, a fim de avaliar o potencial agrogeológico das rochas presentes nestas unidades litoestratigráficas, considerando as normas da legislação brasileira de fertilizantes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Com a Supersuíte G5 definida como foco da pesquisa, foi determinado que as rochas com maior potencial seriam aquelas de composição intermediária a ultrabásica já que estas, por definição, possuem maiores chances de se enquadrarem nas normas vigentes, pois apresentam menores teores de quartzo. Em linha com as definições e orientações do MAPA, a IN 05/2016 (Brasil, 2016a) impõe um limite máximo de 25% para a sílica livre presente nos REM, o que foi usado como principal parâmetro orientador.

Optou-se por usar a classificação de rochas ígneas plutônicas de Streckeisen (1974) como base para a seleção dos litotipos das unidades-alvo, excluindo-se do escopo deste estudo quaisquer rochas que não se enquadrassem no limiar inferior a 20% de quartzo modal do clássico diagrama QAP.

Sendo assim, os litotipos contemplados neste estudo consistiram em rochas com composições modais contendo de 0% a 20% de quartzo, além de rochas ultramáficas, que apesar de não serem discriminadas no diagrama QAP, possuem teor de minerais félsicos (o que engloba o quartzo) inferior a 10%, por definição (Streckeisen, 1974). Rochas com teores de feldspatoides não foram avaliadas no presente estudo devido à baixa representatividade de litotipos alcalinos no contexto geológico do Espírito Santo (Vieira & Menezes, 2015).

Após a seleção das unidades-alvo, foram coletados dados geográficos, petrográficos, de geoquímica e outros dados relacionados à logística da comercialização de agrominerais silicáticos. Estes dados foram compilados, analisados e interpretados, gerando informações que servem como base para a tomada de decisões estratégicas, visando compreender a potencialidade agrogeológica das unidades selecionadas.

4.1 Potencialidade Logística

Para se determinar se uma unidade litoestratigráfica possui potencial para suprir uma demanda local de insumos agrícolas é necessário fazer um estudo da logística associada à produção, comercialização e distribuição dos possíveis produtos resultantes do processo de beneficiamento das rochas que a compõem. Isto pode ser elaborado por meio de levantamentos que consideram a Reserva Mineral da unidade que pretende ser explorada, a proximidade desta unidade com rodovias principais, a presença ou não de empresas que possuam licenças junto à ANM para explorar jazidas e que estejam gerando passivos aptos ao uso na agricultura, entre

outros aspectos. Esta etapa do estudo buscou dar ênfase a alguns fatores que influenciam o potencial agrogeológico das unidades litoestratigráficas do estado do Espírito Santo, descritos abaixo.

4.1.1 Área Representada em Mapa

As áreas em superfície ocupadas pelas unidades litológicas são aqui utilizadas como um guia para se dimensionar o volume de material rochoso contido abaixo da superfície, especialmente considerando as dimensões e geometrias de plútons pós-colisionais, onde aflora a maioria das unidades-alvo aqui estudadas. Neste caso, os corpos de rocha são afunilados e apresentam raízes cilíndricas sub-verticais, como é descrito por Wiedemann-Leonardos *et al.* (2001). Sendo assim, existe uma garantia razoável de que a área seja proporcionalmente relacionada e representativa do volume de rocha abaixo da superfície.

Os valores das áreas em superfície ocupadas pelas unidades-alvo foram obtidos através dos dados vetoriais para uso em Sistema de Informações Geográficas (SIG) referentes ao Mapa Geológico do Espírito Santo (Vieira, 2018), em escala 1:400.000, no sistema de coordenadas geográficas EPSG:4674 referente ao Datum SIRGAS 2000. Estes dados se encontram disponíveis no Repositório Institucional de Geociências (RIGeo) em formato *shapefile* (SGB-CPRM, 2023b). A obtenção da área em m² foi feita através da criação de um novo campo no *shapefile* de litologias, seguida de extração com o auxílio da calculadora de campo do programa. Esta camada foi então exportada como uma planilha no formato “.xlsx” e as áreas de cada feição pertencente a uma mesma unidade foram somadas, obtendo-se a área total que cada uma ocupava.

Tendo em vista que unidades de proteção ambiental podem restringir as atividades de extração mineral na área interna e adjacente aos seus limites, foi também levada em consideração a presença de áreas de relevância socioambiental com restrição de uso presentes no Espírito Santo, em específico Unidades de Conservação (UCs) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs). As UCs são divididas entre unidades de Proteção Integral, que incluem as RPPNs do estado e permitem apenas o uso indireto dos recursos naturais (não envolvendo coleta, consumo, dano ou destruição) e unidades de Uso Sustentável, onde o uso direto é permitido de forma manejada e equilibrada. As Zonas de Amortecimento (ZA), que estão dispostas no entorno das UCs e que estão sujeitas a normas e restrições específicas, também foram consideradas nesta avaliação (Brasil, 2000).

As Unidades de Conservação do estado do Espírito Santo foram instituídas na Lei Estadual 9.462/2010 (Espírito Santo, 2010) e os *shapefiles*, tanto das UCs (IEMA, 2024c) quanto das RPPNs (IEMA, 2024b) destas unidades foram obtidos em fevereiro de 2024, através do site do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA) e estão disponíveis para uso público. Estes *shapefiles* foram adicionados ao projeto em SIG que continha as unidades litológicas de interesse, sendo calculada a área de sobreposição entre estas e as UCs, que foi então subtraída da área em superfície calculada anteriormente.

4.1.2 Proximidade de polos agrícolas

A viabilidade da implementação de REM ou FSi é fortemente influenciada pela distância entre o empreendimento que produz esses insumos e as áreas de produção agrícola nas quais se deseja aplicar o produto. Como foi estabelecido anteriormente neste estudo, quanto maior a proximidade da fonte destes materiais com relação às áreas de elevada produtividade agrícola, menor será o custo com o transporte, tornando o produto mais viável. Com isto, esta etapa da análise consistiu em definir quais unidades apresentam potencial para fornecer insumos agrícolas aos polos produtivos com base na proximidade entre ambos.

Inicialmente, foi necessário estabelecer um parâmetro para definir quais seriam os polos produtivos da região. Considerando-se que a maior parte das arrecadações do Espírito Santo advêm da Cafeicultura, que o estado é o segundo maior produtor de café do Brasil e que os estados vizinhos Minas Gerais e Bahia correspondem ao maior produtor e 4º maior produtor de café do Brasil, respectivamente (IBGE, 2024), a cultura de café foi utilizada como guia para embasar as análises.

Sendo assim, a produção agrícola (medida em milhares de reais arrecadados no ano de 2022) referente ao café de cada município do Espírito Santo e de seus estados vizinhos foi obtida através do site do IBGE (IBGE, 2024). Estes dados foram adquiridos na forma de planilhas no formato “.csv”, sendo feita a união dos nomes dos municípios nestas planilhas com o *shapefile* de Malha Municipal do IBGE (IBGE, 2022b), através do projeto em SIG.

Para simplificar a análise, foram definidos valores de corte, considerando-se que a produção total de café do Brasil em 2022 foi de 51.813.884 mil reais, sendo definidas 5 classes para a produção dos municípios brasileiros, estabelecidas com base em frações do valor total

arrecadado. A Tabela 2 demonstra estas faixas de valor, bem como as classificações utilizadas neste estudo.

Tabela 2 – Faixas de valores e classificação dos municípios brasileiros com base na produção de café para o ano de 2022.

Faixa de valores para a produção de café em 2022 (mil reais)	Porcentagem com relação à produção nacional em 2022	Produtividade
> 518.139	> 1,0%	Muito Alta
259.069 - 518.139	0,5% - 1,0%	Alta
129.535 - 259.069	0,25% - 0,5%	Intermediária
51.814 - 129.535	0,1% - 0,25%	Baixa
< 51.814	< 0,1%	Insignificante

Nota: Faixas de valores elaboradas a partir de dados extraídos do IBGE (2024).

Após o estabelecimento destas categorias, foi feita a determinação da quantidade de municípios produtores de café nos arredores de cada unidade alvo. Isto foi feito considerando distâncias de até 30, 60 e 120 km das unidades com relação ao centro (geométrico) dos municípios, que correspondem, respectivamente, à distância percorrida em 30 minutos, 1 hora e 2 horas de viagem para um veículo transportando uma carga de insumos agrícolas a 60 km/h, que é a velocidade máxima permitida em vias rurais não pavimentadas (Brasil, 1997). A Figura 8 representa de maneira esquemática a relação entre a unidade-alvo e os municípios produtores de café em suas imediações.

No projeto de SIG, foram manualmente criados *shapefiles* contendo os centroides referentes às unidades-alvo. Foram feitas algumas simplificações a fim de evitar dados redundantes, o que resultou na junção de unidades-alvo pertencentes a um mesmo complexo intrusivo (CI) no momento da plotagem do centroide, sempre que a distribuição espacial destes estivesse próxima o suficiente. Também foram removidos da análise municípios vizinhos que apresentassem distâncias superiores a 120 km partindo dos limites estaduais do estado do Espírito Santo.

Para os centroides dos municípios do ES, MG, BA e RJ, foi criado um *shapefile* a partir da ferramenta “Centroides”, empregada na camada produzida a partir dos dados do IBGE. Neste caso, foi considerado como “centro”, o centro geométrico do município, por questões de simplificação e de praticidade logística. Após a geração do *shapefile*, foram excluídos da análise os municípios que apresentaram arrecadações inferiores a 51.814 mil reais para o ano de 2022, com relação à produção de café. Isto resultou em um total de 104 municípios com produção acima de 51.814 mil reais, sendo 56 destes referentes ao estado do Espírito Santo, 43 a Minas Gerais, 3 à Bahia e 2 ao Rio de Janeiro.

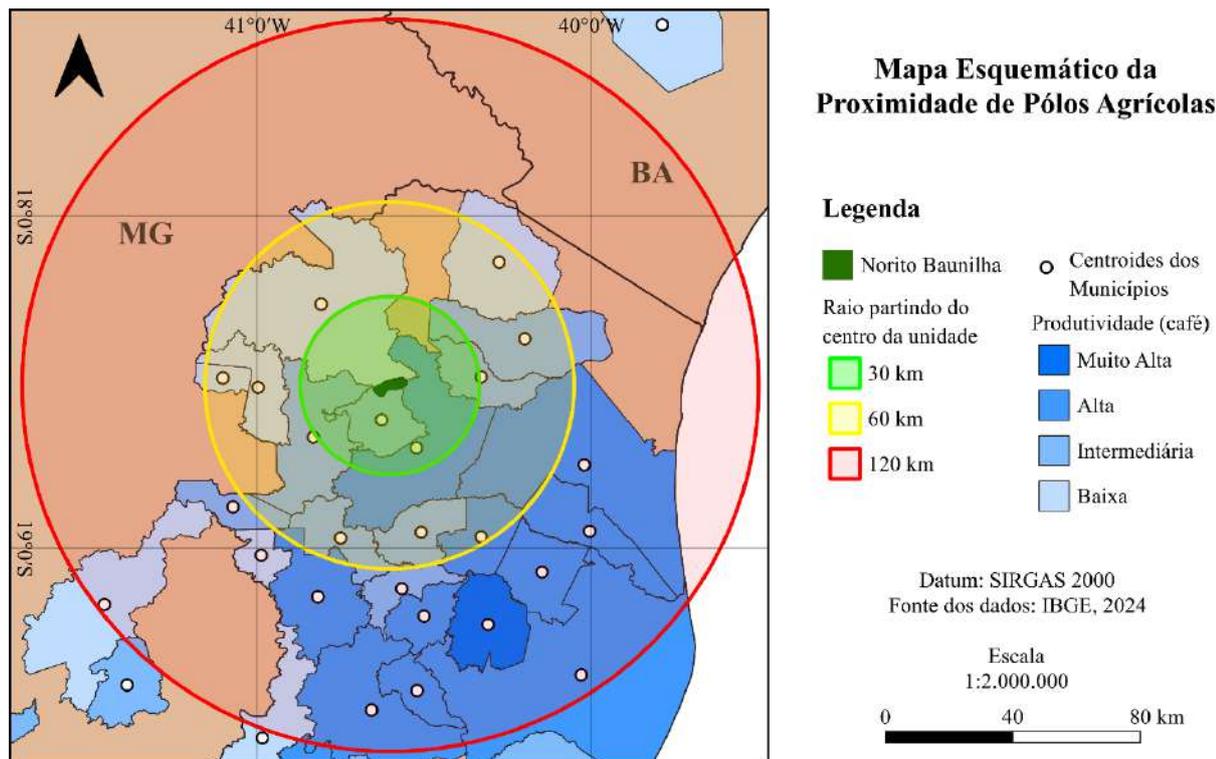


Figura 8 – Mapa esquemático representando o método empregado para a determinação do número de municípios com elevada produtividade de café a distâncias de 30, 60 e 120 km das unidades-alvo. Elaboração própria.

Com estes dois *shapefiles* elaborados, foi utilizada a ferramenta “*Find all closest points for each feature*” do complemento “*Closest Points*” do QGIS, que automaticamente calcula as distâncias entre um ponto único e um outro conjuntos de pontos. Neste caso, para o centroide de cada unidade-alvo, foi calculada a distância deste com os centroides dos municípios selecionados. O resultado deste procedimento foi uma nova camada *shapefile*, a partir da qual pôde-se extrair uma tabela onde havia uma coluna identificando a distância entre estes pontos.

4.1.3 Processos Minerários Ativos e Extração de Rochas Ornamentais

As áreas destinadas para a pesquisa e extração mineral são reguladas pela Agência Nacional de Mineração (ANM) e são classificadas de acordo com as fases do processo minerário. Áreas em regime de Concessão de Lavra estão sujeitas às atividades minerárias extrativistas e indicam operações de mineração em andamento. Estas áreas representam a maior potencialidade para a geração de resíduos, pois indicam que a mina está em atividade ou será brevemente implantada, ou ainda, que está no final de sua vida útil e será encerrada em breve.

As demais fases indicam, principalmente, o interesse de pessoas jurídicas em estudar a área e/ou implementar atividades de extração mineral na mesma.

Para a obtenção dos dados utilizados nesta parte da análise, foi feito o *download*, através do Sistema de Informações Geográficas da Mineração (SIGMINE), da Agência Nacional de Mineração (ANM, 2023), de um *shapefile* contendo os processos minerários cadastrados no Espírito Santo. O número total de processos para cada unidade-alvo foi obtido ao se aplicarem filtros na tabela de atributos da camada vetorial.

Uma ênfase maior foi dada aos cadastros em regime de concessão de lavra, que foram selecionados na camada vetorial após a aplicação de um filtro específico, omitindo-se as demais fases dos processos minerários. Foi executada uma operação de interseção entre dados vetoriais, tomando-se como base o *shapefile* extraído do SIGMINE, sendo este sobreposto ao *shapefile* de litologia do mapa geológico do Espírito Santo, já filtrado para que contemplasse apenas as unidades de interesse.

Com o *shapefile* da interseção gerado, as áreas (em m²) que cada cadastro ocupava nas unidades-alvo foram obtidas através do mesmo procedimento indicado na seção 4.1.1. Também foi feita a exportação da tabela de atributos desta camada no formato “.xlsx”, que foi então utilizada como base para as análises e interpretações.

Para complementar esta análise, foram utilizadas as informações disponíveis no estudo de Vieira *et al.* (2021), onde foi efetuado um levantamento das unidades litoestratigráficas do ES que apresentam potencial para emprego como Rochas Ornamentais (RO). Buscou-se identificar, embasando-se no estudo, quais unidades-alvo possuem potencial para a indústria de RO e também quais delas estão sendo lavradas com esta finalidade.

4.1.4 Ranqueamento das Unidades-alvo

Após a obtenção dos dados indicados nas seções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3, foi feito um ranqueamento das unidades-alvo com base na viabilidade econômica da implementação de produtos derivados de Agrominerais Silicáticos no estado do ES, tendo como base a produção de REM e FSi a partir de atividades minerárias, atuais ou futuras, e a demanda regional por produtos fertilizantes. Esta avaliação fez uso de parâmetros indicativos do potencial de geração de resíduos das unidades-alvo selecionadas, com base na existência de áreas em lavra atualmente, em especial, lavras de RO. Também foi levada em conta a presença de municípios

com participação relevante no setor agrícola nas proximidades das unidades-alvo, aqui considerados como possíveis consumidores dos REM e FSi.

Desta forma, foram atribuídos pesos aos parâmetros selecionados e, para cada unidade-alvo, foi calculada a pontuação com base nos indicadores “Facilidade de Implementação” e “Potencial de Mercado”, descritos em maiores detalhes na Tabela 3 e na Tabela 4, respectivamente. Ao final da etapa de pontuação, para que os valores fossem representados em uma escala de 0 a 10, os indicadores foram divididos pelos fatores 7 e 9, respectivamente.

Tabela 3 – Tabela de cálculo para ranqueamento das unidades-alvo com base no indicador “Facilidade de Implementação”.

Parâmetro	Condição	Pontuação
Área em concessão de lavra	Menos de 1 ha	0
	Entre 1 e 50 ha	10
	Entre 50 e 250 ha	20
	Entre 250 e 500 ha	30
	Acima de 500 ha	40
Potencial como Rocha Ornamental	Não indicado no estudo de Vieira <i>et al.</i> (2021)	0
	Indicado no estudo de Vieira <i>et al.</i> (2021)	10
Lavrado como Rocha Ornamental	Não indicado no estudo de Vieira <i>et al.</i> (2021)	0
	Indicado no estudo de Vieira <i>et al.</i> (2021)	20

Tabela 4 – Tabela de cálculo para ranqueamento das unidades-alvo com base no indicador “Potencial de Mercado”.

Parâmetro	Condição	Pontuação
Municípios com produção de café significativa a 30 km de distância ou menos	Nº de municípios ≥ 2	10
	Nº de municípios ≥ 4	20
	Nº de municípios ≥ 6	30
Municípios com produção de café significativa a 60 km de distância ou menos	Nº de municípios ≥ 5	10
	Nº de municípios ≥ 15	20
	Nº de municípios ≥ 25	30
Municípios com produção de café significativa a 120 km de distância ou menos	Nº de municípios ≥ 20	10
	Nº de municípios ≥ 40	20
	Nº de municípios ≥ 60	30

Após a obtenção destes dois valores, foi calculada a média entre os dois indicadores, que resultou no valor final, o qual representa o índice de “Nível de Viabilidade” de cada unidade-alvo. Unidades com pontuação acima de 6 foram consideradas de “Alto Nível de Viabilidade”. Pontuações entre 3 e 6, foram consideradas de “Médio Nível de Viabilidade”.

Aquelas que não alcançaram valores superiores a 3 foram consideradas como unidades de “Baixo Nível de Viabilidade”.

4.2 Adequação às Normas e Padrões de Qualidade

Apesar dos aspectos logísticos e de facilidade de implementação ditarem quais unidades terão maior ou menor viabilidade econômica, é fundamental que o material mineral silicático que se pretende comercializar como insumo agrícola se adeque às normativas definidas na legislação, garantindo assim a eficiência do produto, bem como sua segurança para a finalidade à qual se destina.

Para a avaliação destas características, inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico de materiais acadêmicos que pudessem conter informações sobre as propriedades petrográficas, distribuição modal dos minerais, geoquímica de rocha total para elementos maiores, menores e traços ou dados sobre a eficiência agronômica das unidades-alvo. Os mecanismos de pesquisa utilizados para alcançar tal objetivo foram o Google Scholar (Google, 2024) e o portal de Periódicos da CAPES (Brasil, 2020).

O levantamento foi efetuado entre outubro e novembro de 2023 e abrangeu toda a série temporal de dados disponível em ambas as plataformas. Foram usadas combinações de palavras-chave que diziam respeito às unidades litológicas de interesse, da forma como são descritas na nota explicativa (Vieira & Menezes, 2015) e no mapa geológico do estado (Vieira, 2018). Também foram usados os termos “Geologia” e “Espírito Santo” para tornar o escopo do levantamento mais preciso. Materiais acadêmicos que não estavam disponíveis no formato digital ou facilmente acessíveis pela internet foram solicitados a pesquisadores e membros da academia que realizaram estudos nas unidades-alvo, sendo adicionados ao acervo bibliográfico em conjunto com os estudos adquiridos pelas plataformas de pesquisa.

Os dados geoquímicos e petrográficos coletados neste levantamento foram compilados e a partir deles foram feitas interpretações com relação ao atendimento dos padrões normativos estabelecidos na IN/05 de 2016 do MAPA (Brasil, 2016a), a fim de atestar o potencial do enquadramento das unidades-alvo na classe de produto dos REM. Ressalta-se aqui que quaisquer unidades que não se enquadrem nas definições propostas na IN 05/2016, aqui avaliadas, ainda possuem potencial de se enquadrarem nas outras classes de produtos abarcados

no conceito de agrominerais silicáticos, podendo apresentar potencial para uso como FSi, por exemplo.

Com relação à petrografia, buscou-se compreender os arranjos dos minerais que constituíam as rochas, assim como a proporção no qual estes ocorriam. A geoquímica foi usada como base para a interpretação do potencial nutricional destas rochas e para atender à normativa. Aliados à petrografia, os dados geoquímicos auxiliam na compreensão da disponibilidade dos macro e micronutrientes presentes nas rochas avaliadas. Sendo assim, a interpretação destes dados foi dividida em duas seções, indicadas a seguir no texto.

4.2.1 Interpretação de Parâmetros Petrográficos

A IN 05/2016 do MAPA (Brasil, 2016a) estabelece um limite máximo de 25% de sílica livre (quartzo) presente nos remineralizadores de solo, valor que foi utilizado como referência para se observar a conformidade ou não-conformidade das unidades-alvo selecionadas, com base nos estudos levantados que apresentassem dados sobre a distribuição modal dos minerais presentes nestas rochas.

Nesta etapa também foram adquiridas informações acerca da presença de minerais de interesse agrogeológico, como a biotita (fonte de potássio) e a apatita (fonte de fósforo). Minerais máficos, como piroxênios e olivinas também foram considerados na interpretação, assim como plagioclásios, especialmente seus membros mais cálcicos. Isto se deve ao fato destes minerais possuírem maiores velocidades de intemperização, o que contribui para os solos a curto prazo, tanto pela disponibilização de nutrientes a uma taxa mais acelerada, quanto devido à maior tendência de formação de minerais secundários que podem aumentar sua CTC.

4.2.2 Interpretação de Parâmetros Geoquímicos

Ainda considerando a IN 05/2016 do MAPA (Brasil, 2016a), buscou-se compreender o enquadramento das rochas como produtos da classe dos REM com base também nos parâmetros geoquímicos, tendo em vista que a norma estabelece como garantias e limites:

- Soma de bases ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O}$) em teores iguais ou superiores a 9% peso/peso;
- Óxido de potássio (K_2O) em teores iguais ou superiores a 1% peso/peso;

- Arsênio (As) em teores iguais ou inferiores a 15 ppm;
- Cádmio (Cd) em teores iguais ou inferiores a 10 ppm;
- Mercúrio (Hg) em teores iguais ou inferiores a 0,1 ppm;
- Chumbo (Pb) em teores iguais ou inferiores a 200 ppm.

A soma de bases e o teor de óxido de potássio são parâmetros utilizados para conferir as garantias mínimas do produto e devem se apresentar acima do mínimo definido na norma. Já os demais elementos, As, Cd, Hg e Pb são considerados Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), sendo vedada pelo MAPA a comercialização de produtos com teores acima dos preconizados na IN 05, impedindo seu cadastro como remineralizadores.

Além dos parâmetros citados no parágrafo anterior, foram considerados também aqueles indicados no Anexo II (Tabela 5) da IN 05/2016 do MAPA, que define os teores de nutrientes e elementos benéficos que podem ser discriminados no rótulo que agregam valor ao produto, sendo a presença destes compostos em teores iguais ou superiores aos teores mínimos definidos na instrução normativa um diferencial.

Tabela 5 – Teores mínimos dos nutrientes e elementos benéficos que podem ser declarados no rótulo dos remineralizadores com base na IN 05/2016 do MAPA.

Nutriente/Elemento Benéfico	Teor Total Mínimo (% em peso/peso)	Teor Total Mínimo (em ppm)
Fósforo (P ₂ O ₅)	1	10.000
Boro (B)	0,03	300
Cloro (Cl)	0,1	1.000
Cobalto (Co)	0,005	50
Cobre (Cu)	0,05	500
Ferro (Fe)	0,1	1.000
Manganês (Mn)	0,1	1.000
Molibdênio (Mo)	0,005	50
Níquel (Ni)	0,005	50
Selênio (Se)	0,03	300
Silício (Si)	0,05	500
Zinco (Zn)	0,1	1.000

Nota: Teores totais mínimos em ppm calculados através de conversão de unidades de medida com base nos teores totais em % e peso/peso indicados na Instrução Normativa 05 de 2016 do MAPA (Brasil, 2016a).

5. RESULTADOS

Após a aplicação dos critérios descritos na seção de Materiais e Métodos, foram enquadradas no escopo deste estudo um total de 32 unidades litoestratigráficas distintas, de composição intermediária a ultrabásica, constituídas predominantemente de dioritos, gabros (incluindo olivina gabros) e noritos. Outros litotipos observados nesta seleção foram

monzonitos, um anortosito e um olivina piroxenito. Na Tabela 6 estão indicadas todas as unidades-alvo selecionadas para a análise presente neste trabalho.

Tabela 6 – Relação das unidades-alvo, com a indicação do Complexo Intrusivo e Suíte a qual estes pertencem.

Nome da Unidade	Complexo Intrusivo	Suíte	Litologia
Guandu	Ibituba	Aimorés	Diorito
Rio Chave	Itapina	Aimorés	Diorito
Córrego Aventureiro	Lagoa Preta	Aimorés	Anortosito
Córrego Bananal	Lagoa Preta	Aimorés	Gabro
Córrego Jaó	Lagoa Preta	Aimorés	Olivina-Gabro
São Sebastião da Vala	Lagoa Preta	Aimorés	Diorito
Itarana	Várzea Alegre	Aimorés	Norito
Rio Sossego	Várzea Alegre	Aimorés	Diorito
Baunilha	-	Aimorés	Norito
Bergamo	-	Aimorés	Gabro
Recreio	-	Aimorés	Norito
Córrego Santo Amaro	Alto Chapéu	Santa Angélica	Gabro
Pedra do dedo	Aracê	Santa Angélica	Diorito
Alto Caxixe Quente	Castelo	Santa Angélica	Diorito
Caxixe	Castelo	Santa Angélica	Diorito
Córrego dos Medeiros	Lajinha do Mutum	Santa Angélica	Diorito
Açude	Mimoso do Sul	Santa Angélica	Diorito
Jacutinga	Mimoso do Sul	Santa Angélica	Olivina-Opx Gabro
Mucuri do Sul	Mimoso do Sul	Santa Angélica	Monzonito
Fazenda Bela Aurora	Santa Angélica	Santa Angélica	Diorito
Laranjeiras	Santa Angélica	Santa Angélica	Gabro
Ribeirão Castelo	Venda Nova	Santa Angélica	Gabro
Ribeirão do Peixe	Venda Nova	Santa Angélica	Norito
Córrego do Retiro (1)	Aracruz	Espírito Santo	Norito
Córrego Taquaral (2)	Aracruz	Espírito Santo	Diorito
Ribeirão Três Rios	Fundão	Espírito Santo	Norito
Jaracatia	Iconha	Espírito Santo	Diorito (3)
Novo	Rio Novo do Sul	Espírito Santo	Diorito
Diorito Concórdia	-	Santa Angélica	Diorito
Gabro João Neiva	-	Espírito Santo	Gabro
Norito São Gabriel da Baunilha	-	Espírito Santo	Norito
Olivina Piroxenito Vale do Canaã	-	Espírito Santo	Olivina Piroxenito

Notas: 1 Informações obtidas de (Vieira, 2018)

2 Para as unidades Córrego do Retiro e Córrego Taquaral, a nota explicativa do trabalho de Vieira & Menezes (2015) faz uso de nomes distintos dos apresentados no Mapa Geológico do estado do ES (Vieira, 2018). Optou-se por usar os nomes descritos no mapa, cuja data de publicação é mais recente. Sinais convencionais utilizados:

“-“ Unidade não pertencente a um complexo intrusivo.

(1) Norito Aracruz

(2) Diorito Aracruz

(3) Diorito e monzonito subordinado.

As unidades Córrego Morúbia e Pedregulho, indicadas no Mapa Geológico do Espírito Santo (Vieira, 2018) como sendo integrantes do CI Afonso Cláudio, foram desconsideradas na seção 5.1 devido a inconsistências nos dados vetoriais observados nos arquivos obtidos através de SGB-CPRM (2023b). Os corpos de rocha destas unidades não se apresentam geograficamente próximos ao CI Afonso Cláudio, fato que pode ser corroborado ao se observar estudos mais recentes como o de Aranda *et al.* (2020). Os resultados de mineralogia e geoquímica das rochas do CI Afonso Cláudio serão abordados evitando-se a utilização dos termos “Pedregulho” e “Córrego Morúbia” quando forem feitas referências a seus constituintes dioríticos e gabróicos, a fim de evitar possíveis ambiguidades e desentendimentos.

5.1 Dados de Logística

A área total que cada unidade-alvo apresenta em mapa, bem como o número total de processos minerários cadastrados na ANM em sobreposição às unidades-alvo, obtidos conforme descrito na seção de Materiais e Métodos, estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Área em superfície e número de processos minerários cadastrados das unidades-alvo.

Nome da Unidade	Complexo Intrusivo	Nº de cadastros minerários	Área (ha)
Laranjeiras	Santa Angélica	42	3769,61
Baunilha	-	14	3647,14
Norito São Gabriel da Baunilha	-	37	2425,50
Pedra do dedo	Aracê	8	2272,73
Mucuri do Sul	Mimoso do Sul	15	2007,38
Córrego Aventureiro	Lagoa Preta	6	1568,00
Córrego dos Medeiros	Lajinha do Mutum	9	1500,50
Córrego Taquaral	Aracruz	12	1405,62
Recreio	-	4	1281,96
Ribeirão Castelo	Venda Nova	12	1202,22
Açude	Mimoso do Sul	11	982,54
Rio Sossego	Várzea Alegre	11	912,07
Jacutinga	Mimoso do Sul	7	892,50
Córrego do Retiro	Aracruz	8	786,90
São Sebastião da Vala	Lagoa Preta	15	728,49
Alto Caxixe Quente	Castelo	7	668,02
Córrego Bananal	Lagoa Preta	11	621,43
Rio Chave	Itapina	7	557,95
Córrego Santo Amaro	Alto Chapéu	9	477,21
Guandu	Ibituba	14	431,16
Itarana	Várzea Alegre	5	387,15

Nome da Unidade	Complexo Intrusivo	Nº de cadastros minerários	Área (ha)
Novo	Rio Novo do Sul	7	325,53
Jaracatia	Iconha	15	325,17
Ribeirão Três Rios	Fundão	2	324,58
Diorito Concórdia	-	3	297,23
Caxixe	Castelo	7	250,17
Bergamo	-	5	220,88
Ribeirão do Peixe	Venda Nova	2	124,06
Olivina Piroxenito Vale do Canaã	-	5	106,61
Gabro João Neiva	-	3	66,83
Córrego Jaó	Lagoa Preta	4	63,75
Fazenda Bela Aurora	Santa Angélica	1	19,85

Notas: 1 Dados referentes a áreas obtidos de dados vetoriais produzidos pelo SGB-CPRM (SGB-CPRM, 2023b).

2 Dados referentes a cadastros minerários obtidos de ANM (2023).

Sinais convencionais utilizados:

“-“ Unidade não pertencente a um complexo intrusivo.

Ao se levar em consideração as áreas de relevância ambiental, foi observado que três unidades-alvo estão situadas em áreas de preservação, correspondendo às unidades Alto Caxixe Quente e Caxixe, que integram o CI Castelo e a unidade Pedra do Dedo, pertencente ao CI Aracê. A Figura 9 apresenta esta sobreposição.

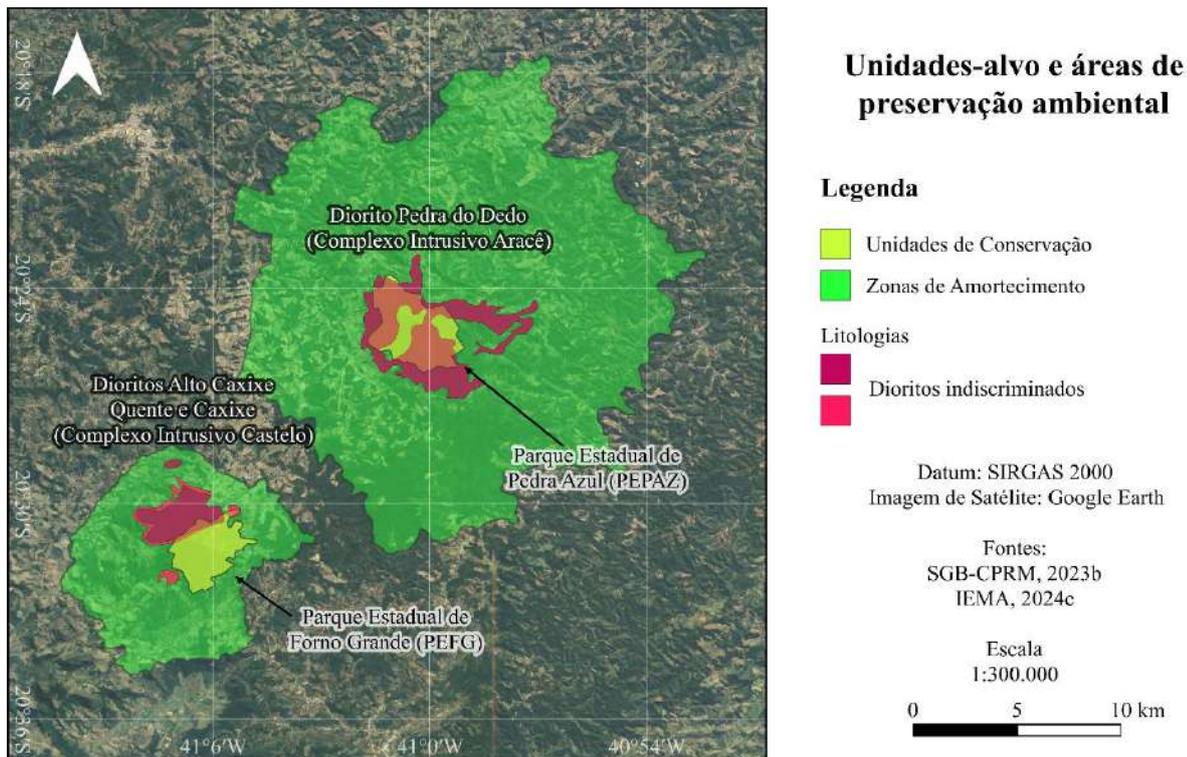


Figura 9 – Mapa representando a área dos parques estaduais de Forno Grande e de Pedra Azul, bem como as unidades dioríticas presentes nos complexos intrusivos Castelo e Aracê. Elaboração própria.

Ambas as unidades litoestratigráficas do CI Castelo (Caxixe e Alto Caxixe Quente) ocorrem totalmente inseridas na área de influência da UC do Parque Estadual de Forno Grande (PEFG), que é uma Unidade de Preservação Integral (Espírito Santo, 2013). Já o CI Aracê encontra-se inserido na UC do Parque Estadual de Pedra Azul (PEPAZ), classificada também como Unidade de Proteção Integral (Espírito Santo, 1991). Nenhuma das RPPNs estabelecidas no estado do Espírito Santo apresentou sobreposição com as unidades litológicas selecionadas para a análise. A Tabela 8 traz uma relação das informações indicadas nos parágrafos anteriores acerca das unidades situadas em áreas de preservação.

Tabela 8 – Área de sobreposição entre as unidades Alto Caxixe Quente, Caxixe e Castelo com suas respectivas Unidades de Conservação (UC) e Zonas de Amortecimento (ZA).

Unidade	Complexo Intrusivo	Área na UC		Área na ZA	
		hectares	%	hectares	%
Alto Caxixe Quente	Castelo	56,87	8,5	611,15	91,5
Caxixe	Castelo	36,10	14,4	214,07	85,6
Pedra do Dedo	Aracê	962,85	42,4	1309,88	57,6

Nota: Em negrito estão representadas as áreas passíveis de exploração.

Entende-se que nas unidades de conservação *stricto sensu*, a lavra não é permitida por lei. No entanto, nas Zonas de Amortecimento (ZA), a exploração pode ser aprovada com anuência de órgãos competentes. Isto pode ser observado no próprio CI Castelo, que apresenta cadastros do SIGMINE em regime de concessão de lavra em sobreposição com a ZA do Parque Estadual de Forno Grande. Levando-se em conta estas considerações, a área efetivamente passível de exploração é representada pela área de sobreposição entre as unidades-alvo e as ZA dos seus respectivos parques estaduais. Sendo assim, as áreas indicadas em negrito na Tabela 8 representam a área total lavrável.

A obtenção do somatório das áreas cadastradas em regime de concessão de lavra de cada unidade-alvo resultou no conjunto de dados apresentados na Tabela 9. Todas as unidades-alvo que não apresentaram sobreposição de áreas cadastradas no SIGMINE em regime de concessão de lavra foram omitidas da tabela.

Tabela 9 – Área total dos cadastros do SIGMINE em regime de concessão de lavra que apresentaram sobreposição com as unidades-alvo.

Nome da Unidade	Complexo Intrusivo	Área em Concessão de Lavra (ha)	Porcentagem da área total da unidade
Norito São Gabriel da Baunilha	-	1561,45	64%
Laranjeiras	Santa Angélica	1429,16	38%
Córrego Taquaral	Aracruz	1074,31	76%
Ribeirão Castelo	Venda Nova	791,84	66%
Açude	Mimoso do Sul	550,55	56%
Córrego do Retiro	Aracruz	477,39	61%
Ribeirão Três Rios	Fundão	324,33	100%
São Sebastião da Vala	Lagoa Preta	253,56	35%
Córrego Santo Amaro	Alto Chapéu	188,83	40%
Rio Chave	Itapina	127,95	23%
Córrego Bananal	Lagoa Preta	97,37	16%
Ribeirão do Peixe	Venda Nova	79,63	64%
Alto Caxixe Quente	Castelo	78,97	12%
Córrego dos Medeiros	Lajinha do Mutum	73,48	5%
Jaracatia	Iconha	61,04	19%
Caxixe	Castelo	41,57	17%
Mucuri do Sul	Mimoso do Sul	6,95	>1%
Jacutinga	Mimoso do Sul	0,02	>1%

Notas: 1 Dados referentes a áreas obtidos de dados vetoriais produzidos pelo SGB-CPRM (SGB-CPRM, 2023b).

2 Dados referentes a cadastros minerários obtidos de ANM (2023).

Sinais convencionais utilizados:

“-“ Unidade não pertencente a um complexo intrusivo.

Após a execução do processo indicado na seção de Materiais e Métodos, a quantidade de municípios produtores de café dentro de raios de 30, 60 e 120 km partindo do centro das unidades-alvo foi obtida e compilada na Tabela 10.

Tabela 10 – Número de municípios produtores de café a 30, 60 e 120 km de distância das unidades-alvo.

Unidades-alvo	Complexo Intrusivo	Número de municípios produtores de café nas imediações das unidades-alvo		
		Distância		
		30 km	60 km	120 km
Laranjeiras, Fazenda Bela Aurora	Santa Angélica	6	21	57
Córrego Aventureiro	Lagoa Preta	2	11	56
São Sebastião da Vala, Córrego Bananal, Córrego Jaó	Lagoa Preta	2	11	60
Gabro João Neiva	-	4	13	34
Olivina Piroxenito Vale do Canaã	-	2	13	38
Ribeirão Castelo, Ribeirão do Peixe	Venda Nova	5	22	63
Bergamo	-	2	10	50
Caxixe, Alto Caxixe Quente	Castelo	4	17	53
Diorito Concórdia	-	4	14	45
Ribeirão Três Rios	Fundão	2	5	30
Jaracatia	Iconha	3	8	35
Novo	Rio Novo do Sul	2	11	36
Rio Sossego, Itarana	Várzea Alegre	6	13	45
Guandu	Ibituba	4	12	55
Córrego Santo Amaro	Alto Chapéu	5	23	59
Rio Chave	Itapina	4	11	45
Córrego Taquaral, Córrego do Retiro	Aracruz	2	9	30
Jacutinga	Mimoso do Sul	2	8	42
Açude, Mucuri do Sul	Mimoso do Sul	2	7	44
Recreio	-	4	13	40
Córrego dos Medeiros	Lajinha do Mutum	9	29	70
Pedra do Dedo	Aracê	6	14	50
Norito São Gabriel da Baunilha	-	3	14	37
Baunilha	-	2	12	25

Nota: Sinais convencionais utilizados:
 “-“ Unidade não pertencente a um complexo intrusivo.

Com base no Mapa de Potencialidade das Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo (Vieira *et al.*, 2021), observa-se ainda a atratividade de determinadas unidades-alvo para a lavra e emprego como RO. Neste informe, mais da metade das unidades-alvo selecionadas no presente estudo foram classificadas como unidades com potencial para a lavra de RO, sendo que cinco delas são atualmente lavradas, conforme pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 – Unidades ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 com potencial para lavra de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo.

Nome da Unidade	Complexo Intrusivo	Existe extração de rocha ornamental?
Laranjeiras	Santa Angélica	Sim
Ribeirão Castelo	Venda Nova	Sim
Córrego do Retiro	Aracruz	Sim
Ribeirão Três Rios	Fundão	Sim
Norito São Gabriel da Baunilha	-	Sim
Açude, Jacutinga	Mimoso do Sul	Não
Rio Sossego	Várzea Alegre	Não
São Sebastião da Vala, Córrego Bananal, Córrego Jaó	Lagoa Preta	Não
Córrego Santo Amaro	Alto Chapéu	Não
Baunilha	-	Não
Recreio	-	Não
Diorito Concórdia	-	Não
Olivina Piroxenito Vale do Canaã	-	Não
Gabro João Neiva	-	Não

Notas: 1 Informações obtidas de Vieira *et al.* (2021).

“-“ Unidade não pertencente a um complexo intrusivo.

O índice de “Nível de Viabilidade” das unidades-alvo foi calculado após a obtenção dos demais parâmetros indicados anteriormente nesta seção, resultando no ranqueamento observado na Tabela 12. No total, 4 unidades alcançaram um Alto Nível de Viabilidade, 19 apresentaram Médio Nível de Viabilidade e 9 foram configuradas como de Baixo Nível de Viabilidade.

Tabela 12 – Ranqueamento e classificação das unidades-alvo de acordo com o parâmetro “Nível de Viabilidade”.

Nome da Unidade	Complexo Intrusivo	Pontuação	Nível de Viabilidade
Ribeirão Castelo	Venda Nova	8,9	Alto
Laranjeiras	Santa Angélica	8,9	Alto
Norito São Gabriel da Baunilha	-	6,7	Alto
Córrego dos Medeiros	Lajinha do Mutum	6,4	Alto
Ribeirão Três Rios	Fundão	5,9	Médio
Córrego do Retiro	Aracruz	5,9	Médio
Açude	Mimoso do Sul	5,8	Médio
São Sebastião da Vala	Lagoa Preta	5,6	Médio
Córrego Santo Amaro	Alto Chapéu	5,5	Médio
Ribeirão do Peixe	Venda Nova	5,3	Médio
Córrego Bananal	Lagoa Preta	4,9	Médio
Alto Caxixe Quente	Castelo	4,8	Médio
Córrego Taquaral	Aracruz	4,5	Médio

Nome da Unidade	Complexo Intrusivo	Pontuação	Nível de Viabilidade
Rio Chave	Itapina	4,2	Médio
Rio Sossego	Várzea Alegre	4,0	Médio
Caxixe	Castelo	4,0	Médio
Fazenda Bela Aurora	Santa Angélica	3,9	Médio
Recreio	-	3,5	Médio
Diorito Concórdia	-	3,5	Médio
Córrego Jaó	Lagoa Preta	3,5	Médio
Pedra do dedo	Aracê	3,3	Médio
Itarana	Várzea Alegre	3,3	Médio
Jaracatia	Iconha	3,1	Médio
Gabro João Neiva	-	2,9	Baixo
Mucuri do Sul	Mimoso do Sul	2,9	Baixo
Jacutinga	Mimoso do Sul	2,9	Baixo
Guandu	Ibituba	2,8	Baixo
Olivina Piroxenito Vale do Canaã	-	2,4	Baixo
Baunilha	-	2,4	Baixo
Bergamo	-	2,2	Baixo
Córrego Aventureiro	Lagoa Preta	2,2	Baixo
Novo	Rio Novo do Sul	1,7	Baixo

5.2 Dados Petrográficos e Geoquímicos

O levantamento bibliográfico culminou na compilação de diversos estudos, contemplando a grande maioria das unidades-alvo. Apesar deste grande volume de informações, boa parte dos estudos apresentou dados referentes apenas a descrições petrográficas gerais das unidades. Não foram encontrados trabalhos que providenciassem informações quanto às unidades: Córrego do Retiro e Córrego Taquaral (CI Aracruz); Ribeirão Três Rios (CI Fundão); Fazenda Bela Aurora (CI Santa Angélica); e gabro João Neiva.

Os dados dos trabalhos que apresentaram resultados de estimativa modal e de análises geoquímicas foram explorados e são descritos com base no escopo desta monografia. Na falta de menções a resultados analíticos referentes aos parâmetros selecionados e indicados na seção de Materiais e Métodos, fica implícita sua ausência nas fontes consultadas, ou, no caso dos parâmetros indicados no Anexo II da IN 05/2016 (Brasil, 2016a), foi feita a omissão deliberada de resultados de parâmetros que não atendessem aos limites mínimos estabelecidos nesta seção da normativa. Serão indicados no texto os casos de resultados que apresentem não-adequação aos padrões de qualidade (% de Qz, soma de bases, teor de K₂O e teor de EPT).

A biotita aparece em destaque pois é uma importante fonte de potássio reativa em solos. Os teores de K_2O em uma rocha não necessariamente refletem os teores de biotita, pois o potássio pode também estar presente em diversos outros minerais como a muscovita e K-feldspatos que, diferentemente da biotita, apresentam taxas de disponibilização deste nutriente consideravelmente inferiores. Como ponto de observação, considerando que cerca de 10,86% da biotita é representada por K_2O (Barthelmy, 2014b), rochas com 9 a 10% modal deste mineral atendem ao valor mínimo de 1% de K_2O estabelecido na IN 05/2016, ainda com a garantia de que tal composto apresentará elevada disponibilidade.

A apatita também é um mineral muito relevante, pois é um dos principais portadores de fósforo nas rochas ígneas. Em seu caso, como é constituída de cerca de 40% de P_2O_5 (Barthelmy, 2014a), teores modais de 2,5% garantem que a rocha apresente valores acima do mínimo de 1% de P_2O_5 para que o nutriente possa ser declarado no rótulo do produto, de acordo com o Anexo II da IN 05/2016.

Para facilitar a leitura das descrições petrográficas e modais, serão utilizadas abreviações de minerais ou de grupos de minerais, definidas pela *International Mineralogical Association (IMA) Commission on New Minerals, Nomenclature and Classification (CNMNC)* e descritas no artigo de Warr (2021). A Tabela 13 apresenta as abreviações utilizadas nesta monografia.

Tabela 13 – Lista de nomes de minerais e grupos de minerais e suas abreviações correspondentes.

Símbolo	Nome	Símbolo	Nome	Símbolo	Nome
Ab	albita	En	enstatita	Ol	olivina
Aln	allanita	Ep	epidoto	Opx	clinopiroxênio
Amp	anfíbólio	Fel	feldspato	Or	ortoclásio
An	anortita	Grt	granada	Phl	flogopita
Ap	apatita	Gru	grunerita	Pl	plagioclásio
Aug	augita	Hbl	hornblenda	Px	piroxênio
Bt	biotita	Hc	hercinita	Py	pirita
Cfs	clinoferrosilita	Ilm	ilmenita	Qz	quartzo
Chl	clorita	Kfs	K-feldspato	Rt	rutilo
Cpx	ortopiroxênio	Mag	magnetita	Spl	espinélio
Crd	cordierita	Mcc	microclina	Srp	serpentina
Cum	cummingtonita	Mnz	monazita	Ttn	titanita
Di	diopsídio	Ms	muscovita	Zrn	zircão

Nota: Abreviações minerais obtidas de Warr (2021).

5.2.1 Complexo Intrusivo Castelo

Silva (1993) descreve o CI Castelo como possuindo duas unidades dioríticas dentre seus litotipos. A primeira ocorre próxima ao contato com as unidades mais ácidas, possui granulação fina e é intensamente penetrada por veios de granito grosso, recebendo o nome de “Caxixe” no mapa geológico do ES (Vieira, 2018). A outra unidade apresenta granulação média, ocorre na porção mais central do plúton de Castelo e recebe o nome de “Alto Caxixe Quente” no mapa do ES (Vieira, 2018). Silva (1993) ainda descreve estas rochas como sendo compostas por plagioclásio (andesina sódica a oligoclásio cálcico), Aug-Di, Hbl e hiperstênio. Também estão presentes os minerais Qz, Or, Bt, Ap, Ttn e opacos.

Signorelli (1993) distingue em maior nível de aprofundamento as duas unidades. No caso do diorito médio, correspondente à unidade Alto Caxixe Quente, o estudo indica que são rochas isotrópicas, equigranulares e de granulação média, compostas por Pl, Qz, Hbl, Aug-Di, Bt, Or pertítico, Ap, Ttn, opacos, carbonatos, óxidos de ferro e hiperstênio.

Ainda de acordo com Signorelli (1993), o diorito fino com vênulas graníticas se trata de um microdiorito e ocorre em uma faixa de apenas 10 a 100 m entre o diorito médio e os granitos do plúton, sendo intensamente penetrado por veios do granito grosso porfírico que ocorre no complexo intrusivo. Apresenta granulação muito fina e é composto por Qz, Pl, Hbl, Bt, opacos, Ap, Or, óxidos de ferro, Aln, Ttn e Zrn. Este litotipo corresponde à unidade Caxixe do mapa do SGB-CPRM (Vieira, 2018).

5.2.1.1 Alto Caxixe Quente

O Bt-Qz Monzodiorito Glomeroporfírico identificado na tese de Meyer (2017), na porção sul do CI Castelo, é aqui interpretado, como a unidade “Alto Caxixe Quente”. A autora indica que este monzodiorito é composto de cerca de 50% Pl, 5 a 10% Kfs, 20% Bt, 7% Amp e 8% Qz. Como acessórios, ocorrem a Ttn (2%), opacos (3%), Ap (1%) e traços de Aln e Zrn. A textura macroscópica mais frequente na área mapeada é a glomeroporfírica de matriz fina a média, mas podem ocorrer também outras três texturas distintas: granulação fina, granulação fina a média e glomeroporfírica de matriz fina.

Também é descrita por Meyer (2017) uma outra litofácies correspondente a um Bt-Qz monzodiorito inequigranular fino a médio, que possui os mesmos componentes que o monzodiorito glomeroporfírico. Esta unidade apresenta distribuição modal levemente distinta

da observada na litofácies glomeroporfírica, sendo constituído de cerca de 15% Bt, 10% Amp, 12% Qz, 13% Kfs, 45% Pl, tendo como acessórios 1% Ttn, 1% Ap, 3% opacos e traços de Zrn.

Ambas litofácies apresentam teores de Qz em conformidade com a IN 05/2016, além de possuírem Bt em níveis apreciáveis (acima de 15%), presença de Pl na faixa de 40 a 50%, além de Ap como mineral acessório.

Meyer (2017) ainda apresenta resultados das análises dos Bt-Qz monzodioritos. Apesar da tabela indicar apenas 5 amostras de Bt-Qz monzodioritos, as amostras identificadas como “MOGA” e “MOD” também estão sendo consideradas na presente análise, pois observa-se nomenclatura similar, além de apresentarem resultados em faixas de valor muito próxima das outras 5. Foi observado que os teores de soma de bases, de K₂O e de todos os quatro EPT (As, Cd, Hg e Pb) encontram-se em conformidade com a IN 05/2016. A unidade também atende à normativa como fonte de P, Fe, Si e Mn, podendo estes ser declarados no rótulo do produto.

5.2.2 Complexo Intrusivo Várzea Alegre

A Folha Colatina (Tuller, 1993) indica a ocorrência de litotipos noríticos e dioríticos no CI Várzea Alegre. Medeiros & Wiedemann (2000) postulam que, dentre os quatro domínios internos presentes neste complexo intrusivo, dois seriam constituídos predominantemente de rochas básicas a intermediárias: Um domínio apresenta Opx gabro e outro Qz diorito, Qz monzonito e monzonito. O primeiro domínio é aqui interpretado como a unidade “Itarana”, que foi identificada no mapa do Espírito Santo (Vieira, 2018) como um norito, e o segundo domínio corresponderia ao diorito “Rio Sossego”.

Medeiros & Wiedemann (2000) descrevem as rochas básicas como sendo constituídas por Pl, Opx (hiperstênio), Bt, Di/Aug (Cpx), Ilm e titanomagnetita. Amp substitui Px e Bt. A fase acessória principal é a Ap. Já as rochas intermediárias seriam compostas por Pl (oligoclásio/andesina), Amp, Bt, En, Di, Kfs, Ilm, Mag, Ap e Zrn.

5.2.2.1 Itarana

Tuller, (1993) aponta que o norito ocorre no centro da intrusão e apresenta granulação média e textura hipidiomórfica-granular, sendo cortado por diques de Mcc granito porfírico em direções aleatórias. Apresenta 60% Pl (andesina), 15% Bt, 10% Cpx (Aug), 5% Opx (hiperstênio), 5% Qz, 4% Kfs e 1% Hbl, com Ap e opacos como minerais acessórios.

Medeiros & Wiedemann (2000) apresentam dados geoquímicos das duas unidades em questão. Para as rochas básicas, as análises de 7 amostras indicaram que todas apresentaram soma de bases em adequação com a IN 05/2016, assim como o Pb, único EPT abordado nas análises deste estudo. K_2O se apresentou abaixo do limite normativo em apenas uma amostra (0,77% p/p), enquanto os outros valores se mantiveram na faixa de 1,5 a 2,5%, indicando que esta unidade se adequa à IN 05/2016, ao se considerar a média e mediana destes resultados. Com relação aos micronutrientes, Fe e Si foram observados em teores acima do mínimo exigido no Anexo II. P_2O_5 e Mn foram observados em com teores acima do requerido em 6 amostras, enquanto Co apresentou valores superiores a 0,005% em 5 amostras.

5.2.2.2 Rio Sossego

De acordo com Tuller (1993), há a presença de um Qz diorito nas porções central e intermediária da intrusão, apresentando granulação fina, isotrópico e constituído de Qz, Fel, Bt e hiperstênio. Em lâmina delgada apresenta 50% Pl (andesina), 17% Cpx (Di), 16% Hbl, 10% Bt, 3% Opx (hiperstênio) e 3% Qz. Apresenta opacos, Ep, Ap e Ttn como acessórios e carbonatos como minerais secundários, alterando o Pl.

Em Medeiros & Wiedemann (2000) e Medeiros, Wiedemann-Leonardos & Vriend (2001), um total de 7 amostras dos Qz dioritos e Qz monzodioritos foram analisadas, resultando em valores de soma de bases, K_2O e Pb em adequação à IN 05/2016. Como micronutrientes, tem-se a presença de Fe, Mn, Si e Co em concentrações superiores ao mínimo indicado no Anexo II da normativa. Observa-se também que 5 amostras apresentam P_2O_5 em teores superiores a 1%, com uma das amostras alcançando o valor de 1,98%.

5.2.3 Complexo Intrusivo Santa Angélica

5.2.3.1 Laranjeiras

Bayer *et al.* (1987) indica que no centro do CI Santa Angélica predominam Px-Bt monzogabros e monzodioritos, ocorrendo tanto como rochas de granulação grossa e com grãos sem orientação preferencial, como rochas porfíricas de granulação fina. O CI Santa Angélica também está descrito na Folha de Cachoeiro do Itapemirim (Silva, 1993), onde é mencionada a presença das mesmas litologias descritas por Bayer *et al.* (1987).

Zanon (2013) demonstra em seu trabalho que no interior deste plúton são encontrados três litotipos meso- a melanocráticos, originados através de três diferentes pulsos magmáticos,

distinguidos por índice de cor e granulação. Dois litotipos melanocráticos são observados, apresentando granulação variando de fina a média, textura intergranular, subofítica ou porfirítica, sendo classificados como gabros/dioritos e apresentando mineralogia composta predominantemente por Pl, Px, Bt, além de Qz, opacos e Ap em menores teores.

Hartwig *et al.* (2020) descrevem ainda as rochas básicas a intermediárias do complexo intrusivo como gabros e dioritos. Neste estudo, os autores indicam que esta unidade possui estrutura maciça, textura inequigranular fanerítica e granulação variando de fina a média, sendo compostos por Pl (50%), Cpx (32%), Bt (9%), Qz (4%). Também ocorrem como fases acessórias (5%) Mag, Ap e sulfetos, com presença de carbonatos como produto de alteração no Pl.

A área do maciço na qual ocorre mistura entre o magma granítico e gabróico, onde é descrita a ocorrência de rochas híbridas, não é discriminada no mapa geológico (Vieira, 2018) ou na nota explicativa (Vieira & Menezes, 2015). Sendo assim, a interpretação destas rochas não será atribuída às unidades diorítica ou gabroica descritas nos trabalhos do SGB-CPRM, para evitar interpretações sobrepostas.

Bayer *et al.* (1987) apresenta resultados de estimativa modal de 4 amostras de gabro, demonstrando que estas rochas são compostas principalmente por Pl, Cpx, Bt e opacos. Apresentam teores de quartzo baixos, em conformidade com a IN 05/2016, Bt variando de 6,4 a 18,3%, teores de Pl superiores a 45% e mais de 10% de Px. Destaca-se a presença de Ap em teores de aproximadamente 2% ou mais na rocha.

Zanon (2013) também apresenta descrições de lâminas (n = 9) , de onde puderam ser extraídas informações acerca da composição modal dos gabros. Foram observados resultados semelhantes ao observado no estudo de Bayer *et al.* (1987), com teores de Qz situando-se na faixa de 1 a 2%, grande predominância de Pl, teores de Bt raramente desviando da faixa de 10 a 15% e Ap presente em pequenas concentrações, com mediana em 1%.

Os estudos de Bayer *et al.* (1987), Zanon (2013) e Zanon *et al.* (2015) apresentam dados de litogeoquímica de um total de 13 amostras de rochas gabróicas do CI Santa Angélica. Todas as amostras apresentaram soma de bases acima de 9% e K₂O em conformidade com a IN 05/2016, este ocorrendo em uma faixa de 1,99% a 3,54%. As amostras contempladas por Bayer *et al.* (1987) apresentam ainda teores de Pb abaixo de 200 ppm. Tanto Si como Fe apresentaram teores superiores ao mínimo indicado no Anexo II. Para Mn, 9 amostras apresentaram teores acima de 0,1%, sendo a média dos valores também superior ao indicado no Anexo II da norma.

A rocha também apresenta fósforo em concentrações apreciáveis, com 10 amostras apresentando teores de P_2O_5 acima de 1%, figurando na faixa de 1,38% a 2,01%.

5.2.4 Complexo Intrusivo Alto Chapéu

5.2.4.1 Córrego Santo Amaro

Na folha Cachoeiro de Itapemirim, Silva (1993) descreve as rochas do CI Alto Chapéu, identificando uma unidade composta por gabros, de granulação média a fina, por vezes porfíricos. Vieira (2018) posteriormente denominou tal unidade como “Córrego Santo Amaro”. Mais recentemente, estas rochas foram caracterizadas por Teixeira *et al.* (2020), como inequigranulares leucocráticas, também de granulação média a fina, constituindo uma fácies diorítica a monzodiorítica do plúton de Alto Chapéu, não estando presentes gabros no complexo intrusivo, ao contrário do indicado em estudos prévios.

Teixeira *et al.* (2020) definem a mineralogia desta fácies monzodiorítica do CI Alto Chapéu como sendo composta por 40% Pl, 11% Qz, 12% Kfs, 16% Bt, 13% Hbl, além de Cpx, como minerais essenciais, com a presença de Ttn, Ap, Aln e minerais opacos como acessórios. Neste mesmo trabalho são apresentados dados de composição modal para 6 amostras Qz monzodioríticas, estando todas abaixo do limite preconizado na IN 05/2016 para o conteúdo de sílica livre, com a amostra mais rica em Qz apresentando teor de 19,3% do mineral. Duas amostras apresentam teores de Bt baixos, porém, as demais apresentam o mineral na faixa de 10 a 20%. Pl é o feldspato predominante, ocorrendo na faixa de 40 a 60%. Ap é observada em apenas uma das amostras submetidas à contagem de pontos.

Análises químicas de 4 amostras intermediárias também foram efetuadas no estudo de Teixeira *et al.* (2020). Todas apresentaram soma de bases, teores de K_2O e teores dos EPT As, Cd e Pb em conformidade com a IN 05/2016. Com relação a teores de micronutrientes, todas as amostras apresentaram teores de Fe e Si acima do preconizado no Anexo II da IN 05/2016 e 3 das 4 amostras apresentaram teores de Mn acima do mínimo de 0,1%. P_2O_5 e Ni também foram observados em concentrações que ultrapassam o mínimo exigido na IN em pelo menos uma das amostras, sendo que os teores de fósforo se apresentam próximos do limite definido na norma, variando de 0,77% a 1,16%, podendo configurar a rocha como potencial fonte deste nutriente.

5.2.5 Complexo Intrusivo Aracê

5.2.5.1 Pedra do Dedo

Os dados apresentados na Folha Afonso Cláudio (Signorelli, 1993) apontam para a presença de um litotipo constituído por um Bt-Hbl diorito no CI Aracê, caracterizado posteriormente no mapa do SGB-CPRM (Vieira, 2018) como “Pedra do Dedo”, sendo, neste mapa, delimitada a envoltória deste domínio mais básico. No estudo de Signorelli (1993), é descrito como uma rocha inequigranular, de granulação grossa, composta por Fel, Bt, Amp, Qz e Mag. Em seção delgada apresenta textura hipidiomórfica-granular a inequigranular e granulação grossa, sendo constituída de Pl (andesina), Bt, Hbl, Or, Qz e Ab. Possui Ap, Ttn, opacos e Aln como acessórios. Como minerais de alteração ocorrem a sericita, Ms e carbonatos.

A Folha Domingos Martins (Féboli, 1993a) expande a descrição desta unidade, indicando que na borda do maciço ocorrem Qz dioritos. São rochas de granulação fina a média e textura granular-hipidiomórfica a granoblástica, sendo constituídas de Pl, Qz, Mcc, Bt e Ttn. Como acessórios ocorrem Zrn, Aln, Ap, opacos e Hbl. Como minerais de alteração ocorrem sericita, Ep, carbonatos e Ms.

Esta mesma folha (Féboli, 1993a) traz dados de análises modais de três amostras desta unidade, onde pode ser observado que o Qz se apresenta dentro dos limites estabelecidos na IN 05/2016. Também pode ser observada Bt em uma faixa de composição de 15 a 25%, além de Pl em teores acima de 50%. Ap está presente em uma faixa de 0,5 a 1%.

Féboli (1993a) apresenta ainda o resultado de análises químicas para estas mesmas três amostras. As amostras apresentaram soma de bases e teores de K₂O em adequação à IN 05/2016. Também não foi identificada a presença de Pb nas análises efetuadas, estando em conformidade com a normativa. Fe e Si apresentaram teores acima do mínimo requerido no Anexo II da IN 05/2016. Cl (cloro) também apresentou teores superiores ao mínimo exigido de 0,1% para duas das três amostras analisadas. P₂O₅ foi observado em concentrações na faixa de 0,76% a 0,96%, estando próximo ao limite mínimo de 1%.

5.2.6 Complexo Intrusivo Venda Nova

A Folha Afonso Cláudio (Signorelli, 1993) indica que o CI Venda Nova apresenta rochas dioríticas subordinadas em sua porção externa e gabros em seu núcleo. Este trabalho descreve a ocorrência de diorito de granulação fina a média, composto por Pl e Bt, apresentando opacos,

Ap e Qz como acessórios, além de Ep e carbonatos como minerais de alteração. Já o gabro apresenta granulação média, foliação de fluxo ígneo e é composto de Pl (andesina), Di, hiperstênio e Bt. Como acessórios ocorrem Or, Qz, Ap, Epi, opacos e Ttn. Vieira & Menezes (2015) e Vieira (2018) não discriminam os dioritos descritos por Signorelli (1993) como sendo parte de uma unidade exclusiva e distinta dos gabros, sendo ambos atribuídos à unidade “Ribeirão Castelo”, no mapa geológico. Ludka, Wiedemann & Töpfner (1998) descreve ainda os gabro-noritos do centro da intrusão como possuindo labradorita, Di, bronzita/hiperstênio, Bt, Hbl, Ilm, titanomagnetita e sulfetos, com ocorrências locais de cumulos de Ol-Px-Phl.

Mendes (1996), descreve os noritos presentes na borda do CI Venda Nova como rochas de granulação fina, com textura variando de hipidiomórfica granular a intergranular, ocasionalmente microporfírica. São caracterizados como rochas ricas em anfibólios e piroxênios. Estimativas modais indicam que estas rochas são constituídas de Pl, Amp, Opx, Cpx, minerais opacos e possuem Ap, Qz, Bt e Zrn como acessórios. Mendes, Wiedemann & McReath (2002) indicam para os noritos a seguinte ordem de abundância mineralógica: Pl, Amp, Opx, Cpx, Mag, Ilm, Py, Ap, Zrn, além de Bt e Qz ocorrendo raramente. Entre os minerais secundários, o Amp substitui os Px e a Mag substitui a Ilm.

5.2.6.1 Ribeirão Castelo

Ludka, Wiedemann & Töpfner (1998) apresentam também a média dos resultados das análises químicas para os gabro-noritos do centro do plúton de Venda Nova. Pode-se observar teores médios de 19,51% para a soma de bases e de 1,16% de K₂O, ambos acima do mínimo requerido na IN. Não foram analisados EPT neste estudo, no entanto, destaca-se a presença de Ni, Fe, Mn e Si em teores médios acima do preconizado no Anexo II da IN 05/2016. Também se observa um teor médio de P₂O₅ de 0,98%, situando-se marginalmente abaixo do valor de 1% determinado na norma.

5.2.6.2 Ribeirão do Peixe

Mendes (1996) e Mendes & Campos (2012) fornecem dados de composição modal a respeito dos noritos da borda do plúton, referentes à unidade Ribeirão do Peixe. Todas as 11 amostras apresentam teores de Qz inferiores a 1% e Pl entre 45 e 55%. Além do Pl, Amp e Px constituem a maioria dos minerais máficos encontrados nas rochas desta unidade. Bt e Ap, quando presentes, se encontram em teores baixos.

Estas mesmas amostras (Mendes, 1996) possuem resultados de análises geoquímicas. A soma de bases das amostras apresentou valores em conformidade com a IN 05/2016, no entanto, os valores de K₂O não alcançaram o teor mínimo preconizado na norma. Os teores de Pb apresentaram-se conformes e os compostos Co, Fe, Mn e Si foram observados em valores superiores aos valores mínimos indicados no Anexo II da IN.

5.2.7 Complexo Intrusivo Mimoso do Sul

Fontes (1981) descreve o CI Mimoso do Sul como “Granitóide Jacutinga-Torre”, sendo este composto por rochas máficas e ultramáficas metassomatizadas. O autor divide este complexo em três principais domínios: Domínio A, correspondente ao plúton Jacutinga, mais meridional, composto por gabros e piroxenitos anfibolitizados; Domínio B, correspondente à porção central do plúton Torre, situado a norte, constituído por gabros e piroxenitos biotitizados e microclinizados e; Domínio C, porção mais externa do plúton de Torre, apresentando rochas granitoides de composição sienítica com pegmatitos associados. Os domínios A, B e C correspondem, respectivamente, ao Ol-Opx gabro “Jacutinga”, ao diorito “Açude” e ao monzonito “Mucuri do Sul”, unidades descritas no mapa geológico do ES (Vieira, 2018).

Fontes (1981) indica que as rochas do Domínio A possuem estrutura maciça, granulação fina a grossa, sendo constituídas macroscopicamente de Px/Amp, Fel e sulfeto fino disseminado. Em lâmina delgada apresentam textura hipidiomórfica granular ou granoblástica e são compostas por Amp, Pl (labradorita/bytownita ou andesina/labradorita), Px (hiperstênio) e minerais opacos. O Px mostra-se anfibolitizado e biotitizado.

As rochas do Domínio B possuem estrutura maciça e apresentam maior porcentagem de Bt que as do Domínio A (Fontes, 1981). Possuem matriz fina a média, podem apresentar orientação e são compostas macroscopicamente por Bt, “pirobólio”, Fel, Mag, pouco ou nenhum Qz e Ttn em concentrações pequenas. Sob lâmina delgada, apresentam textura granoblástica e têm como principal constituinte a Mcc, possuindo também Pl (andesina), Px (Aug titanífera), Amp, Bt, Ttn, opacos, Zrn e Qz. Amp e Bt são originários do Px. Ap ocorre como mineral acessório e são observados agregados de carbonatos alterando o Pl.

Por fim, o Domínio C é mais feldspatizado, composto por rochas porfiroblásticas, de granulação grossa a muito grossa, com predomínio de porfiroblastos de Kfs sobre matriz de granulação fina, ou ocasionalmente muito fina. Esta matriz é anfibolítica e apresenta Bt, Fel,

pouco ou nenhum Qz e Mag, por vezes havendo a presença de carbonatos. Em lâmina delgada, apresentam textura hipidiomórfica-granular e são compostas por Mcc, Pl (oligoclásio), Qz, Bt, Amp, Ttn, Zrn, Ap, opacos, Rt e Ep. O Pl se encontra parcialmente sericitizado e a Bt é originada da alteração do Amp.

5.2.7.1 Jacutinga

Ludka & Wiedemann-Leonardos (2000) apresentam resultados de análises químicas de 4 amostras do Ol-Opx gabro da unidade Jacutinga, onde pode ser observada a aderência à IN 05/2016 com relação aos valores de soma de bases, não sendo o caso, porém, dos teores de K₂O, que não alcançam o mínimo estabelecido na normativa. Como nutrientes e elementos benéficos indicados no Anexo II da norma, observa-se a presença de Fe, Si e Mn em teores superiores ao mínimo estabelecido.

5.2.8 Complexo Intrusivo Lagoa Preta

O CI Lagoa Preta é individualizado em dois principais domínios, segundo Vieira (1993). O Domínio I, mais a norte, é composto por Ol gabros (troctolitos) e anortositos. Já o Domínio II, a sul, apresenta também dioritos e rochas ácidas em sua estrutura. Posteriormente, Vieira (1997), aproveitando-se de dados obtidos durante o mapeamento da Folha Baixo Guandu, aprofunda-se na caracterização deste complexo intrusivo, refinando seus limites e individualizando novos litotipos. Neste estudo, Vieira indica que no Domínio I (plúton norte) ocorrem gabros *lato sensu* e anortositos, e no Domínio II (plúton sul) há a presença de gabros e Ol gabros, além dos dioritos indicados por Vieira (1993).

As unidades intermediárias a ultrabásicas, no mapa geológico do ES (Vieira, 2018), recebem as seguintes denominações: “Córrego Aventureiro”, correspondendo às rochas anortosíticas do plúton norte; “São Sebastião da Vala”, que corresponde aos dioritos do plúton sul; “Córrego Bananal”, referente aos gabros do plúton sul e; “Córrego Jaó”, representado pelos Ol gabros, também do plúton sul.

5.2.8.1 Córrego Aventureiro

De acordo com Vieira (1993), análises megascópicas indicaram que os anortositos apresentam granulação grossa, e os gabros possuem granulação média a grossa. Sob o microscópio, os anortositos apresentam textura hipidiomórfica e granular, sendo compostos por 95,5% de Pl (labradorita) e 4,5% de minerais ferromagnesianos, sendo representados por Ol

serpentinizada, bem como bronzita, Aug e Cum-Gru. Já os troctolitos, também de textura hipidiomórfica-granular, apresentaram de 43 a 67 % de Pl (labradorita) e 57 a 33% de minerais ferromagnesianos, sendo a Ol seu componente principal. Também apresenta, em menores teores, bronzita, Aug, Cum-Gru e Spl.

Vieira (1997) e Vieira, Dussin & Horn (2006) corroboram com a descrição de Vieira (1993), indicando que os anortositos e gabros (*lato sensu*) do Domínio I apresentam de 90 a 95% de Pl normativo, estes sendo constituídos de 70 a 75% An. Os gabros deste domínio apresentam textura cumulada, sendo a Ol o primeiro mineral a se cristalizar, sendo seguida de Pl (constituídos de > 50% An), que ocupa todo o espaço livre da rocha. Desenvolve-se ao redor da Ol uma textura de corona, constituída de zonas de Px (bronzita) e Amp (Cum magnésiana), com uma porção externa constituída de Amp em crescimento simplectítico com Spl (Hc e Mag rica em cromo). O Opx e Amp ocorrem também nos interstícios da rocha. Ocorrem como alterações a Srp e óxidos de Fe nas Ol, além de plagioclásios alterados à sericita e carbonatos.

Vieira (1997) apresenta resultados de análises químicas dos troctolitos (n=18) e anortositos (n=7) do Domínio I. Apesar dos teores de soma de bases se apresentarem em conformidade com a IN 05/2016, é possível observar que os teores de K₂O se apresentam em concentrações muito abaixo do limite mínimo de 1%. Com relação aos micronutrientes e elementos benéficos analisados no estudo, Si e Fe estão ambos acima do mínimo indicado no Anexo II da IN e, para diversas amostras, Ni, Mn e Co encontram-se em teores superiores ao estabelecido como mínimo para indicação no rótulo do produto, no entanto, apenas o Ni atinge um valor médio superior a 0,005%.

5.2.8.2 São Sebastião da Vala

Os dioritos do Domínio II são descritos por Vieira (1993) como rochas com graus de metamorfismo variados. Possuem granulação fina a média, sendo que as porções mais metamorfizadas apresentam textura granolepidoblástica e granoblástica inequigranular. São compostos por Pl (andesina), hiperstênio, Di, Aug, Hbl, Bt e Qz, com Zrn, Ap e opacos ocorrendo como acessórios. Já os hiperstênio dioritos e meta-Qz dioritos possuem textura granoblástica seriada e são constituídos de Pl (andesina), hiperstênio, Aug, Crd, Grt, Bt (por vezes muscovitizada) e Qz, também apresentando Zrn, Ap e opacos como acessórios.

Segundo Vieira (1997) e Vieira, Dussin & Horn (2006), os dioritos apresentam granulação fina a média e apresentam foliação definida por lamelas de Bt. São compostos por 30 a 50% de Pl (andesina), 5 a 25% de Px (Cfs), 20 a 25% de Bt, 10% de Amp (Hbl), 20% de

Grt e 5% de Qz. Como acessórios, estão presentes minerais opacos, Ap e Zrn. A textura granolepidoblástica é definida pelo Pl e Px. O autor também indica que ocorrem alterações nos minerais Pl (sericitização e saussuritização), Px (uralitização), Amp (cloritização) e Grt (biotitização).

Vieira (1997) apresenta resultados para as amostras dioríticas do CI Lagoa Preta. O autor indica que as rochas desta unidade são deformadas e sugere ainda que as zonas cisalhadas possivelmente serviram de conduto para fluidos ricos em sílica e potássio, responsáveis por uma possível alteração hidrotermal que foi responsável também pela alteração da Bt à Chl nos gabros e de Ol à Srp nos Ol gabros. Algumas das amostras apresentam significativo enriquecimento em álcalis e plotam no campo dos sienitos e sienodioritos. Estas rochas foram mantidas na presente análise, sendo descartadas apenas amostras que apresentassem teores de SiO₂ superiores a 65%.

Os resultados apresentados em Vieira (1997), referentes a 9 amostras, demonstraram que o atendimento aos padrões de soma de bases e K₂O estabelecidos na IN 05/2016 não foram alcançados em todas as amostras, apesar da média dos resultados para ambos os parâmetros ser superior aos limites mínimos estabelecidos. Para a soma de bases, cinco amostras apresentaram teores ligeiramente inferiores a 9% e com relação aos teores de K₂O, apenas uma amostra apresentou valor consideravelmente abaixo do preconizado na norma. Os micronutrientes Si, Fe e Mn estão presentes em concentrações acima do valor mínimo para discriminação no rótulo em todas as amostras, com o Ni ultrapassando o valor mínimo estabelecido no Anexo II em duas instâncias apenas.

5.2.8.3 Córrego Bananal

Vieira (1997) e Vieira, Dussin & Horn (2006) descrevem os gabros como rochas de granulação média a grossa, sendo compostos por 45% Pl (labradorita), 30% Di, 10% Hbl, 10% opacos e 5% Qz. Como minerais acessórios, ocorrem opacos, Mnz e Ap. Também foi observada nestas rochas a uralitização do Px e cloritização do Amp.

Vieira (1997) apresenta o resultado de três amostras de gabro, no entanto, foi observada uma grande variância dos dados. Todas as amostras apresentaram teores de soma de bases em conformidade com a normativa, no entanto, os teores de K₂O não alcançaram o padrão estabelecido na IN, com exceção da amostra VS-132. Esta amostra também apresentou teores de P₂O₅ e Mn acima do preconizado no Anexo II da IN, além de teor de CaO muito inferior às outras duas amostras, dados que sugerem que esta amostra não apresenta as mesmas

características geoquímicas que as demais. Apesar disto, todas as amostras apresentaram teores de Si e Fe acima do mínimo requerido na norma.

5.2.8.4 Córrego Jaó

Os Ol gabros do Domínio II, de acordo com Vieira (1997) e Vieira, Dussin & Horn (2006), possuem textura granular e localmente cumulática, sendo cortados por veios pegmatíticos e por vênulas de Qz-Fel. São compostos por 50% Pl, 20% Ol, 15% Hbl, 5% Di e 5% Qz. Como mineralogia acessória tem-se Zrn e opacos. Cristais de Ol não são observados em contato com os de Pl e ocorrem coronas de Px e Amp em crescimento simplectítico com Spl. Como processos de alteração secundária, são observadas a serpentinização da Ol, a uralitização do Px, a cloritização do Amp e a albitização, seritização e saussuritização do Pl.

Para as rochas desta unidade, Vieira (1997) apresenta o resultado de análises geoquímicas de duas amostras, onde pode ser observado que os teores de soma de bases estão em conformidade com o estabelecido na IN 05/2016. Apesar disto, os teores de K₂O encontram-se abaixo do mínimo requerido na norma. Como micronutrientes, são observados o Si, Fe e Mn em teores superiores aos indicados no Anexo II da IN.

5.2.9 Norito Baunilha

Descrito no Mapa Geológico do ES (Vieira, 2018) como “Baunilha”, este corpo norítico é, dentre as unidades ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 no estado do ES, a mais setentrional. O norito, que recebe o nome na Folha Mantena (Pedrosa-Soares, 2007b) e na Folha Ecoporanga (Pedrosa-Soares, 2007a) de “Norito Veloso”, é descrito por ambos os estudos como uma rocha equigranular fina, de estrutura isotrópica e textura subofítica sob lâmina delgada, composta por labradorita (~70%) e Opx (~15%), apresentando como minerais acessórios o Qz e a Bt, ambos ocorrendo em teores inferiores a 5%, assim como minerais opacos associados aos minerais máficos. O Pl apresenta processo de saussuritização incipiente. Ambos os estudos também apontam a presença de uma fácies enderbítica subordinada nesta unidade.

As descrições petrográficas da unidade indicam que esta possui teores de Qz dentro dos limites da norma, entretanto, observa-se também valores baixos de Bt. Nenhum dos estudos indica a presença de Ap como mineral acessório.

Duas análises químicas foram efetuadas nos trabalhos de Pedrosa-Soares (2007a, 2007b). Os resultados indicaram que as amostras apresentam soma de bases adequada, porém,

não alcançaram o mínimo de 1% para K_2O . As amostras apresentaram Fe e Si em teores superiores ao mínimo indicado no Anexo II da IN 05/2016, com uma das amostras apresentando valor de Mn superior ao mínimo de 0,1%.

5.2.10 Complexo Intrusivo Rio Novo do Sul

5.2.10.1 Novo

A Folha Piúma (Féboli, 1993b) descreve rochas básicas do CI Rio Novo do Sul, indicando que estas possuem textura inequigranular fina a média, eventualmente grossa, por vezes apresentando anisotropia representada por foliação de fluxo. Apresentam em sua composição Pl, Qz, Bt e Amp. Como acessórios são observados a Ap, a Ttn, opacos, Zrn e Aln, e como secundários têm-se carbonatos, sericita, Ep, Ms e Chl. Na presente iteração do Mapa Geológico do ES (Vieira, 2018) está indicada a presença de uma unidade diorítica, que recebe o nome de “Novo”.

A composição modal de duas amostras está disponível no trabalho de Féboli (1993b) e indica teores de Qz em conformidade com a IN 05/2016. Também apresenta Bt e Pl em teores apreciáveis, acima de 30%, além de ser indicada a ocorrência de Ap.

Féboli (1993b) apresenta os resultados de análises químicas destas mesmas duas amostras, onde pode ser observado o atendimento aos limites estabelecidos na IN 05/2016 para soma de bases e K_2O . Uma das amostras apresentou teores de Pb excedendo o máximo permitido, porém, como o espaço amostral foi de apenas duas amostras e a outra se mostrou conforme, não é possível descartar a possibilidade deste resultado ser anômalo.

Elementos que se apresentaram em teores superiores ao estabelecido no Anexo II, sendo passíveis de discriminação na rotulagem do produto, foram o Fe, Si e Mn. Para P_2O_5 e Ni também foram observados teores mínimos superiores ao limite em pelo menos uma das duas amostras analisadas no estudo de Féboli (1993b).

5.2.11 Norito São Gabriel da Baunilha

Tuller (1993) descreve o Norito São Gabriel da Baunilha como uma rocha melanocrática, de granulação média a grossa, isotrópica, composta por Qz, Fel, Bt e hiperstênio. Em lâmina delgada observa-se Pl (70%), Px (16%), Bt (12%), Qz + Mcc (1%), com Ap + Zrn

+ opacos perfazendo os 1% restantes. Apresenta textura hipidiomórfica-granular grossa e o Px é predominantemente Di e hiperstênio. Não foram observadas em campo feições de deformação.

Uhlein *et al.* (2014) descrevem o Norito como uma rocha de granulação fina a média, composta essencialmente por Pl, Opx, Bt e Qz. Lopes (2016) apresenta ainda uma estimativa modal para o Norito São Gabriel da Baunilha constituída de 45% Pl, 12% Kfs, 10% Qz, 10% Bt, 15% Opx, 2% Cpx, 2% Hbl, 1% Zrn e 3% opacos. Wisniowski *et al.* (2021) descreve a rocha como possuindo granulação média, com textura intergranular a subofítica, sendo composta por Pl, Opx e Cpx, além de Ilm, Ap e Zrn como minerais acessórios. Tanto Lopes como Wisniowski *et al.* indicam que Bt e Hbl ocorrem substituindo os Px. Ademais, Wisniowski *et al.* apontam que o Opx da rocha é En, os Cpx são Aug e Di, e o Pl é labradorita de baixo Ca. Este trabalho também apresenta a estimativa modal de três amostras do norito, onde podem ser observadas concentrações de Bt na faixa de 12 a 18%.

Em todos os estudos, é observada a presença de quartzo em teores inferiores ao máximo estabelecido na normativa, além de Pl em teores de 40% ou mais, Bt ocorrendo na faixa de 10 a 20% e Px na faixa de 20 a 30%, além da presença de Ap.

Uhlein *et al.* (2014) também apresentam a caracterização geoquímica de uma amostra do Norito São Gabriel da Baunilha. O resultado indica que a amostra selecionada apresenta soma de bases adequada e teor de K₂O acima do mínimo requerido pela IN 05/2016. O resultado de Pb se apresentou abaixo do limite estabelecido na IN e os nutrientes P₂O₅ (este com teor de 1,65%), Fe e Mn, além do elemento benéfico Si, apresentaram valores acima do mínimo proposto no Anexo II da norma.

5.2.12 Complexo Intrusivo Afonso Cláudio

A Folha Afonso Cláudio (Signorelli, 1993) caracteriza as rochas do CI Afonso Cláudio e indica que o centro deste corpo ígneo é constituído de litologia diorítica a Qz diorítica, de granulação média a grossa, com assembleia mineral constituída de Pl, Hbl, Bt e Cpx (Aug). Como acessórios ocorrem Ap, Qz e opacos. Possui textura granular, hipidiomórfica, sem sinais de recristalização metamórfica. Féboli (1993a) indica que na porção central também ocorrem noritos e Qz monzonitos. Parte deste complexo intrusivo aflora na Folha Baixo Guandu (Vieira, 1993) porém não apresenta as unidades básicas a intermediárias nesta região.

Aranda *et al.* (2020) apresenta uma classificação aprofundada das rochas presentes neste complexo intrusivo, indicando a presença de diversos litotipos. Há a presença de uma fácies constituída de monzogabro, que grada a Qz monzogabro, de textura porfirítica e de matriz fanerítica equigranular de granulação fina a média, composta principalmente por Pl, Bt, Cpx e Kfs. Como minerais acessórios ocorrem Qz, opacos, Hbl, Ap e Zrn.

Aranda *et al.* (2020) descreve também um monzodiorito, que grada até Qz monzodiorito e Qz diorito, como uma rocha de granulação fina a média, de textura equigranular fanerítica (raramente glomeroporfirítica), constituída de Pl, Bt, Hbl, Cpx e Kfs como fases essenciais, e Qz, opacos, Ap, Ttn e Zrn como acessórios. Como minerais secundários, tem-se a sericita, carbonatos e a Chl.

Aranda *et al.* (2020) apresenta faixas de valores para a estimativa modal dos monzogabros e monzodioritos. Ambos apresentam intervalos de teor de Qz abaixo do permitido na norma, estando em conformidade com esta. Os valores máximos (12% para o monzogabro e 17% para o monzodiorito) também não ultrapassam o limite estabelecido. A Bt também ocorre em faixas interessantes, variando de 8 a 14% nos monzogabros e de 10 a 32% nos monzodioritos. Ap também ocorre em ambos, podendo chegar da 2% da composição da rocha nos monzodioritos.

5.2.13 Complexo Intrusivo Itapina

5.2.13.1 Rio Chave

A Folha Colatina (Tuller, 1993) indica a ocorrência de um litotipo quartzo-diorítico no CI Itapina, o descrevendo como uma rocha de textura granonematoblástica, de matriz fina, foliada e com pórfiros de Kfs. Esta unidade é descrita no mapa geológico do ES (Vieira, 2018) como uma unidade diorítica, denominada “Rio Chave”. Segundo Tuller (1993), sob lâmina, esta rocha é constituída de 70% Pl (albita/oligoclásio), 5% Kfs, 9% Hbl, 5% Bt, 10% Qz, além de aproximadamente 1% de minerais acessórios como opacos, Ap, Ep, Ttn e carbonatos. A rocha ocorre na região sul do maciço e evolui de termos mais básicos para mais ácidos, apresentando certo grau de heterogeneidade composicional, podendo apresentar alto teor de Kfs, com pouca presença de matriz, além da ocorrência de xenólitos de rochas paraderivadas.

5.2.14 Complexo Intrusivo Ibituba

5.2.14.1 Guandu

O CI Ibituba aflora nas Folhas Colatina (Tuller, 1993) e Baixo Guandu (Vieira, 1993) apresentando, dentre seus litotipos, uma fácies diorítica de granulação fina, textura subofítica e estrutura isotrópica, denominada no mapa do ES (Vieira, 2018) como “Guandu”. Tuller (1993) descreve este litotipo como um Qz diorito. Como mineralogia principal, tem-se a presença de 55% Pl (andesina), 2% Opx (hiperstênio), 15% Cpx (Di), 10% Bt, 3% Qz, 15% Hbl. Ocorrem como acessórios minerais opacos, Ep, Ap e Ttn, estando presentes também carbonatos, como minerais secundários, substituindo o Pl.

5.2.15 Recreio

O norito Recreio é descrito na Folha Domingos Martins (Féboli, 1993a) como um corpo arredondado, de cerca de 3,8 km² de área, de granulação média a grossa, localmente fina, apresentando ao microscópio Pl (oligoclásio-andesina), Px (hiperstênio e clinohiperstênio), Bt e Qz escasso. Como minerais acessórios, tem-se Ap, Ttn, Zrn e opacos. Os minerais secundários são carbonatos e sericita. Este estudo apresenta ainda a composição mineralógica de duas amostras, ambas apresentando 5% de Bt e uma das amostras apresentando 2% de Ap. Teores de Qz se apresentam dentro do limite estabelecido na IN 05/2016.

5.2.16 Gabro Bergamo

Esta unidade é denominada nas Folhas Baixo Guandu (Vieira, 1993) e Colatina (Tuller, 1993) como “Gabro Baixo Guandu”. Vieira & Menezes (2015), na nota explicativa do mapa geológico do ES, descrevem estes corpos de rocha sem conferir a eles nomes. Posteriormente, Vieira (2018), inclui estes dois gabros em uma única unidade denominada “Gabro Bergamo”.

Na Folha Baixo Guandu (Vieira, 1993), esta unidade é descrita como uma rocha de textura hipautomórfica-granular, de granulação grossa, possuindo como constituintes essenciais o Pl e hiperstênio, sendo que o primeiro se encontra localmente alterado à Mcc e o segundo alterado à Bt. Também ocorrem minerais opacos como acessórios, estando inclusos na Bt.

A Folha Colatina (Tuller, 1993) descreve esta unidade como sendo constituída de rocha isotrópica de granulação grossa constituída por Qz, Pl, Bt e hiperstênio. Em lâmina delgada, a

rocha apresenta 57% de Pl (oligoclásio/andesina), 25% de Px (hiperstênio), 15% de Bt e 3% de Mcc, estando em conformidade com a IN 05/2016 no quesito sílica livre. Os cristais de Px encontram-se parcialmente biotitizados e a Mcc substitui o Pl.

5.2.17 Complexo Intrusivo Iconha

5.2.17.1 Jaracatia

A unidade Jaracatia, composta de dioritos e monzonitos subordinados (Vieira, 2018) pertence ao CI Iconha e é descrita na Folha Piúma (Féboli, 1993b), apresentando, de acordo com Féboli, dioritos finos a médios. Possuem textura granular hipidiomórfica e são, ao microscópio, constituídos por Pl, Bt, Hbl e Qz em menor quantidade, além de Ap, opacos, Ttn e Aln.

Féboli (1993b) apresenta a composição modal de 6 amostras dioríticas/monzodioríticas, onde podem ser observados teores de Qz em conformidade com a IN 05/2016. Se destaca a presença de Bt em uma faixa de teor variando de 12 a 30%, além da presença de Pl em teores de 40% ou mais. Há a presença de Amp em teores moderados (6 a 22%) e metade das amostras apresentaram Ap em teores superiores a 1%.

5.2.18 Olivina Piroxenito Vale do Canaã

A Folha Colatina (Tuller, 1993) descreve e nomeia o Olivina Piroxenito Vale do Canaã, que se apresenta como uma rocha isotrópica, de granulação média e textura granoblástica, apresentando Bt e sendo rica em sulfetos e Ol. Em seção delgada, apresenta matriz piroxenítica (Di), que envolve grãos de Ol, Phl e opacos. A rocha também apresenta Amp e os grãos de Ol encontram-se parcialmente serpentinizados.

Silverol & Filho (2006) apresentam um estudo agrogeológico onde utilizam amostras do Ol-piroxenito cominuídas para testar sua eficiência como REM. O estudo faz uso do manto intempérico desenvolvido sobre o Ol piroxenito, portanto, os resultados analíticos não refletem a composição original da rocha em seu estado são.

5.2.19 Complexo Intrusivo Lajinha do Mutum

5.2.19.1 Córrego dos Medeiros

O Mapa Geológico do ES (Vieira, 2018) dá o nome de “Córrego dos Medeiros” à unidade diorítica pertencente ao CI Lajinha do Mutum. Este plúton é descrito na Folha Manhumirim (Novo, 2010), que o denomina de “Intrusão de Lajinha”, indicando duas subunidades, sendo o núcleo do plúton representado pela unidade diorítica. De acordo com os autores, esta rocha apresenta granulação muito fina e textura predominantemente maciça, localmente apresentando foliação de borda. É composta por Pl, Qz, Kfs, Bt e Hbl, sendo o mineral máfico predominante a Bt. Hbl ocorre subordinadamente e o Pl apresenta elevada saussuritização, dando origem aos minerais secundários sericita, Ep e carbonatos. Como minerais acessórios, estão presentes Ap, opacos, Zrn, Ttn e Grt.

5.2.20 Diorito Concórdia

A Folha Piúma (Féboli, 1993b) descreve brevemente o Diorito Concórdia como uma rocha de granulação fina a média, isotrópica e composta por Pl, Bt, Amp e Qz em menor quantidade. O corpo apresenta aproximadamente 3 km² de área em superfície e é cortado por veios quartzo-feldspáticos.

6. DISCUSSÃO

6.1 Logística e Economicidade

Apesar da ocorrência mais expressiva dos termos graníticos e charnoquíticos na Supersuíte G5, tem-se a presença de grandes plútons e núcleos de complexos intrusivos de composição intermediária a ultrabásica no estado do Espírito Santo. O somatório de todas as áreas ocupadas por estas unidades representa uma área total de 320 km², que, quando comparada à área do Espírito Santo, corresponde a pouco menos de 0,7% da área de todo o estado.

Pôde ser observado que a quase totalidade das unidades-alvo apresentaram áreas superiores a 100 ha, sendo que dez unidades ocupam áreas em superfície expressivas, superiores a 1.000 ha. Considerando o que foi postulado na seção 4.1.1, as unidades intermediárias a ultramáficas da Supersuíte G5 apresentam um volume de reservas presumidamente elevado, o

que confere um alto potencial de abastecimento das demandas agrícolas dos municípios do ES e estados vizinhos no longo prazo, caso estas rochas venham a ser exploradas ou gerar resíduos na forma de subprodutos (ou co-produtos) que possam ser empregados como agrominerais silicáticos.

A exploração das rochas da Supersuíte G5 pela indústria de rochas ornamentais é o principal fator que atualmente acarreta a geração de resíduos provenientes destas unidades. As informações obtidas de Vieira *et al.* (2021), em conjunto com a análise dos cadastros de áreas em concessão de lavra, permitiram identificar quais unidades estão atualmente em regime de exploração e podem já estar gerando tais resíduos, os quais podem apresentar potencial para o emprego como agrominerais silicáticos.

Pôde ser observado que mais da metade das unidades-alvo abarcadas neste estudo situam-se em áreas atualmente em regime de concessão de lavra. Apesar de duas destas unidades apresentarem áreas de sobreposição insignificantes (<1% da área total da unidade), dez unidades apresentam de 50 a 500 ha em regime de concessão de lavra, e cinco unidades são amplamente explotadas, apresentando mais de 500 ha de suas áreas totais situadas em cadastros neste regime. Estes dados demonstram o grande interesse da indústria mineral nas unidades intermediárias a ultrabásicas da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo, representando um alto potencial de geração de resíduos, principalmente nas unidades com extensas áreas em regime de lavra.

A análise de proximidade aos polos produtores de café indica que as unidades-alvo possuem, de forma generalizada, alto potencial para suprir as demandas agrícolas de suas imediações. Com exceção de apenas uma unidade (diorito Novo), todas as demais unidades-alvo já se situam em municípios com produções expressivas de café. Além disto, apresentam distâncias curtas, na faixa de 10 a 60 km, de diversos municípios vizinhos com produções agrícolas significativas, sendo capazes de suprir a demanda de no mínimo 5 municípios em um raio de 60 km, com algumas unidades-alvo apresentando potencial para suprir mais de 20 municípios neste raio.

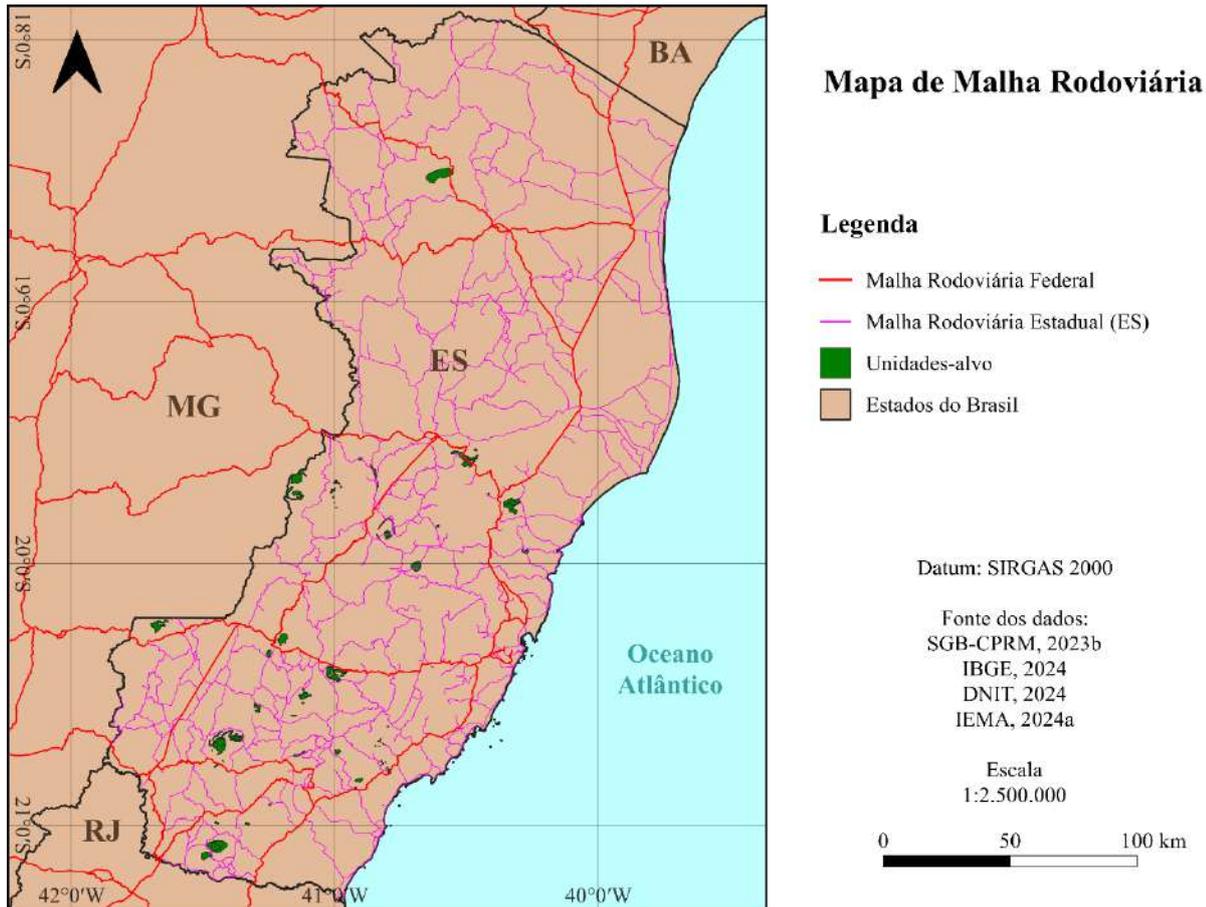


Figura 10 – Mapa representando a proximidade entre as unidades-alvo e as malhas rodoviárias federal e do estado do Espírito Santo. Elaboração própria.

Após a avaliação que resultou no ranqueamento das unidades-alvo de acordo com seus Níveis de Viabilidade, pôde-se observar que a grande maioria destes alvos apresentaram níveis intermediários a altos, evidenciando uma relação favorável entre a facilidade de implementação da produção de produtos REM/FSi e a disponibilidade de consumidores nas proximidades das unidades-alvo. A Figura 10 representa a relação entre as unidades-alvo e as rodovias federais, indicando que as distâncias são curtas, o que favorece o escoamento destes produtos para as lavouras de café e demais cultivos presentes na região estudada.

6.2 Petrografia, Mineralogia e Geoquímica

Os resultados do levantamento bibliográfico permitiram a identificação de tendências gerais nas características petrográficas das rochas contempladas nos estudos. A grande maioria das descrições destas unidades-alvo apontam que estas possuem estrutura isotrópica e um grau

elevado de homogeneidade textural, granulação média a grossa na maioria dos casos e, dentro de uma mesma unidade, observa-se uma baixa variabilidade mineralógica e composicional, como pode ser observado nos estudos de distribuição modal e de geoquímica com espaços amostrais maiores, como é o caso de Mendes (1996), Zanon (2013), Teixeira *et al.* (2020) e Medeiros & Wiedemann (2000).

Os corpos de rocha, de modo geral, são descritos na literatura como maciços, carecendo de orientação mineral preferencial, exceto quando ocorre na forma de foliação de fluxo ígneo. Apresentam, raramente, diques ou veios pegmatíticos que, quando presentes, podem alterar as propriedades químicas e mineralógicas destas rochas em escala de afloramento, não sendo expressivas ao se considerar todo o volume da unidade.

Como era presumido, devido à própria pré-seleção de litologias intermediárias a ultrabásicas, descrita no início da seção 4, nenhuma das rochas analisadas apresentou teores modais de quartzo superiores a 20%, o que resultou no enquadramento ao limite de sílica livre imposto na IN 05/2016 (Brasil, 2016a). Supõe-se o mesmo comportamento para as rochas das quais não foram observados estudos petrográficos ou resultados de estimativa modal.

As amostras, no geral, apresentaram minerais de menor resistência intempérica, como piroxênios e anfibólios. Olivina foi um mineral comum nas unidades de composição ultramáfica/ultrabásica. Os feldspatos foram observados em todos os resultados de estimativa modal em teores expressivos, comumente acima de 50% do volume total da rocha, havendo predominância dos plagioclásios, variando da bytownita ao oligoclásio, com maior concentração de amostras nos campos da labradorita e andesina.

A grande maioria das unidades apresenta biotita em sua composição mineralógica, geralmente estando em menores concentrações nas rochas ultrabásicas e em algumas unidades básicas. As rochas de composição tendendo a intermediária, como os dioritos e alguns gabros/noritos se destacaram pois apresentaram teores elevados deste mineral, raramente estando abaixo de 10% e por vezes alcançando teores de 30% ou mais, o que representa faixas de 1 a 3% de K_2O de alta disponibilidade, assim como foi discutido no início da seção 5.2. A presença de apatita também foi observada em grande parte das unidades-alvo, geralmente na faixa de 0,5% a 3%, frequentemente configurando teores de P_2O_5 próximos ou superiores a 1%.

Ainda em referência aos teores de biotita, para as unidades-alvo que apresentaram tanto descrições de composição modal como de composição química, um total de 14 unidades distintas, foi observada a correlação entre o atendimento ao teor de 1% de K_2O e biotita em

faixas próximas ou superiores a 10%. As cinco unidades que apresentaram teores médios de biotita inferiores a 10% não alcançaram teores mínimos de 1% K_2O . A situação oposta foi observada para as demais unidades (9 no total).

Com relação à soma de bases, excetuando-se algumas amostras das rochas dioríticas do CI Lagoa Preta (possivelmente devido ao grau de alteração hidrotermal indicado no estudo), todos os resultados analíticos apresentados nos estudos ultrapassaram o mínimo de 9% p/p, requerido na IN 05/2016 do MAPA (Brasil, 2016a), atendendo a esta condicionante. Ressalta-se aqui, porém, o fato deste parâmetro não representar, por si só, um indicativo do potencial de determinada rocha para emprego como REM ou FSi, já que a presença de teores elevados de CaO, MgO e, em especial de K_2O , não necessariamente aponta que esses nutrientes estão presentes na estrutura de minerais com taxas mais elevadas de intemperização. Além disto, o CaO e MgO são frequentemente fornecidos pela aplicação de corretivos de acidez, produto muito comumente empregado no manejo de solos. Estes, por definição, devem apresentar teores mínimos de 38% de CaO + MgO, a depender do material aplicado (Brasil, 2006).

Com relação ao parâmetro K_2O , em diversas instâncias foram observados teores inferiores a 1% p/p nas amostras analisadas presentes nos estudos selecionados. Este foi o caso de determinadas unidades noríticas/gabróicas e anortosíticas, representando pouco menos da metade do espaço amostral total compilado a partir dos estudos. Apesar disto, amostras de dioritos e de alguns gabros/noritos de unidades específicas apresentaram teores de K_2O adequados, em alguns casos de 3 a 4 vezes acima ao limite mínimo requerido na norma, atendendo assim ao padrão de qualidade.

Os estudos que contemplaram as unidades-alvo apresentaram uma carência generalizada de dados referentes aos EPT, em especial para os elementos arsênio, cádmio e mercúrio. Apesar disto, foi possível obter resultados de chumbo para cerca de um terço das unidades-alvo, com apenas uma ocorrência do elemento em teores superiores ao estabelecido na IN 05/2016 (Brasil, 2016a). As demais amostras apresentaram teores de Pb abaixo dos 200 ppm estabelecidos como valor máximo para o padrão de qualidade dos remineralizadores. Nas poucas instâncias onde foram realizadas análises dos demais EPT, observou-se a adesão dos resultados aos valores preconizados na normativa.

A baixa quantidade de resultados analíticos para os parâmetros As, Cd e Hg nas rochas estudadas decorre do fato destes elementos serem pouco visados em análises litogeoquímicas, diferentemente do Pb. Mesmo com o quantitativo de resultados reduzido para estes compostos,

a presença dos mesmos geralmente está associada a traços de minerais sulfetados, que porventura cristalizam durante o resfriamento do magma e abrigam estes elementos calcófilos em suas estruturas. Valores anormalmente altos, como o observado para uma das amostras do estudo de Féboli (1993b), podem ainda resultar de heterogeneidades amostrais, onde uma amostra pode apresentar maior concentração de minerais sulfetados na porção amostrada, levando a teores elevados destes elementos nos resultados analíticos.

Como micronutrientes e elementos benéficos contemplados no Anexo II da norma (Brasil, 2016a), observou-se, para todas as amostras, ferro e silício em teores superiores aos valores mínimos estabelecidos na norma. A presença de Fe em teores interessantes se deve ao fato deste elemento ser um constituinte essencial dos diversos minerais observados nas distribuições modais apresentadas nos estudos, como a biotita, piroxênios, anfibólios e olivinas.

Cálcio e magnésio também apresentaram teores elevados em todas as amostras, com algumas exceções pontuais para as rochas do CI Lagoa Preta, no caso do Mg. O Ca tem como principal fonte os plagioclásios cálcicos, encontrados abundantemente nestas rochas, enquanto o Mg, por ter características físico-químicas semelhantes ao Fe^{2+} , também se encontra na estrutura de minerais máficos, assim como indicado no parágrafo anterior.

Além destes compostos, foi observado potencial para os nutrientes e elementos benéficos P_2O_5 , Mn, Ni, Co e Cl em algumas das rochas presentes nas unidades-alvo, o que, no caso de produtos da classe dos remineralizadores, pode servir como atrativo, já que estes compostos são passíveis de declaração no rótulo do produto, de acordo com o Anexo II da IN 05/2016. Destaca-se a presença de P_2O_5 em teores acima de 1% em algumas unidades, este sendo originado principalmente da apatita, configurando ainda um nutriente de grande relevância para a nutrição vegetal. Os demais elementos ocorrem em fases minerais de pouca representatividade no volume da rocha, ou ainda, podem estar contidos na estrutura dos minerais essenciais que constituem as mesmas.

Algumas unidades-alvo apresentaram, em literatura, apenas breves descrições petrográficas, por vezes indicando faixas de teores de componentes minerais e estimativas modais. Para as unidades-alvo das quais não foram encontrados dados de geoquímica durante a etapa de pesquisa bibliográfica, não foi possível efetuar a avaliação do potencial REM/FSi.

Apesar da carência de informações acerca da geoquímica, foram observadas, para tais unidades, de maneira geral, características petrográficas semelhantes às outras unidades litoestratigráficas da Supersuíte G5 de mesma litologia que apresentaram dados de geoquímica

disponíveis na literatura. Observou-se a predominância de minerais máficos e de plagioclásios constituindo a maior parte do volume destas rochas. O quartzo, quando presente, ocorre em baixas concentrações, e minerais de interesse agrogeológico como a biotita e apatita foram frequentemente observados em faixas de concentração apreciáveis.

6.3 Potencial Agrogeológico das unidades-alvo

Após a compilação de dados, um total de dezesseis (16) unidades-alvo apresentaram estudos onde foram efetuadas análises geoquímicas de rocha total, permitindo assim a caracterização de seus potenciais nutricionais. Foi observada alta favorabilidade para emprego como Remineralizador para as rochas de 10 unidades, observando-se o atendimento aos padrões estabelecidos na IN 05/2016 e a presença de minerais de interesse. Para as demais 6 unidades que não apresentaram teores significativos de K_2O , foi evidenciado o potencial como demais produtos do grupo dos Fertilizantes Silicáticos, visto que ainda apresentam nutrientes e elementos benéficos em teores elevados, presentes em minerais de interesse. A relação da classificação do potencial agrogeológico das unidades-alvo é apresentada na Tabela 14.

Tabela 14 – Potencial Agrogeológico das unidades-alvo que apresentaram dados geoquímicos, de acordo com os parâmetros estabelecidos na IN 05/2016.

Unidade	Complexo Intrusivo	Atende à IN? (1)	Macro-nutrientes	Micro-nutrientes	Elementos Benéficos
Laranjeiras	Santa Angélica	Sim	K, P, Ca, Mg	Mn, Fe	Si
Ribeirão Castelo	Venda Nova	Sim	K, P, Ca, Mg	Mn, Ni, Fe	Si
Norito São Gabriel da Baunilha	-	Sim	K, P, Ca, Mg	Mn, Fe	Si
Córrego Santo Amaro	Alto Chapéu	Sim	K, P, Ca, Mg	Mn, Fe	Si
Rio Sossego	Várzea Alegre	Sim	K, P, Ca, Mg	Mn, Fe	Co, Si
São Sebastião da Vala	Lagoa Preta	Sim (2)	K, Ca, Mg	Mn, Fe	Si
Pedra do dedo	Aracê	Sim	K, P, Ca, Mg	Cl, Fe	Si
Itarana	Várzea Alegre	Sim	K, P, Ca, Mg	Mn, Fe	Co, Si
Alto Caxixe Quente	Castelo	Sim	K, P, Ca, Mg	Mn, Fe	Si
Novo	Rio Novo do Sul	Sim (3)	K, P, Ca, Mg	Mn, Ni, Fe	Si
Ribeirão do Peixe	Venda Nova	Não	Ca, Mg	Mn, Fe	Co, Si
Córrego Bananal	Lagoa Preta	Não	Ca, Mg	Fe	Si
Baunilha	-	Não	Ca, Mg	Mn, Fe	Si
Córrego Aventureiro	Lagoa Preta	Não	Ca, Mg	Ni, Fe	Si
Córrego Jaó	Lagoa Preta	Não	Ca, Mg	Mn, Fe	Si
Jacutinga	Mimoso do Sul	Não	Ca, Mg	Mn, Fe	Si

Notas: (1) O termo "IN" faz referência à Instrução Normativa 05/2016 (Brasil, 2016a).

(2) Algumas amostras apresentaram teor de soma de bases inferior a 9%.

(3) Uma amostra apresentou teor de Pb acima do limite máximo permitido na norma.

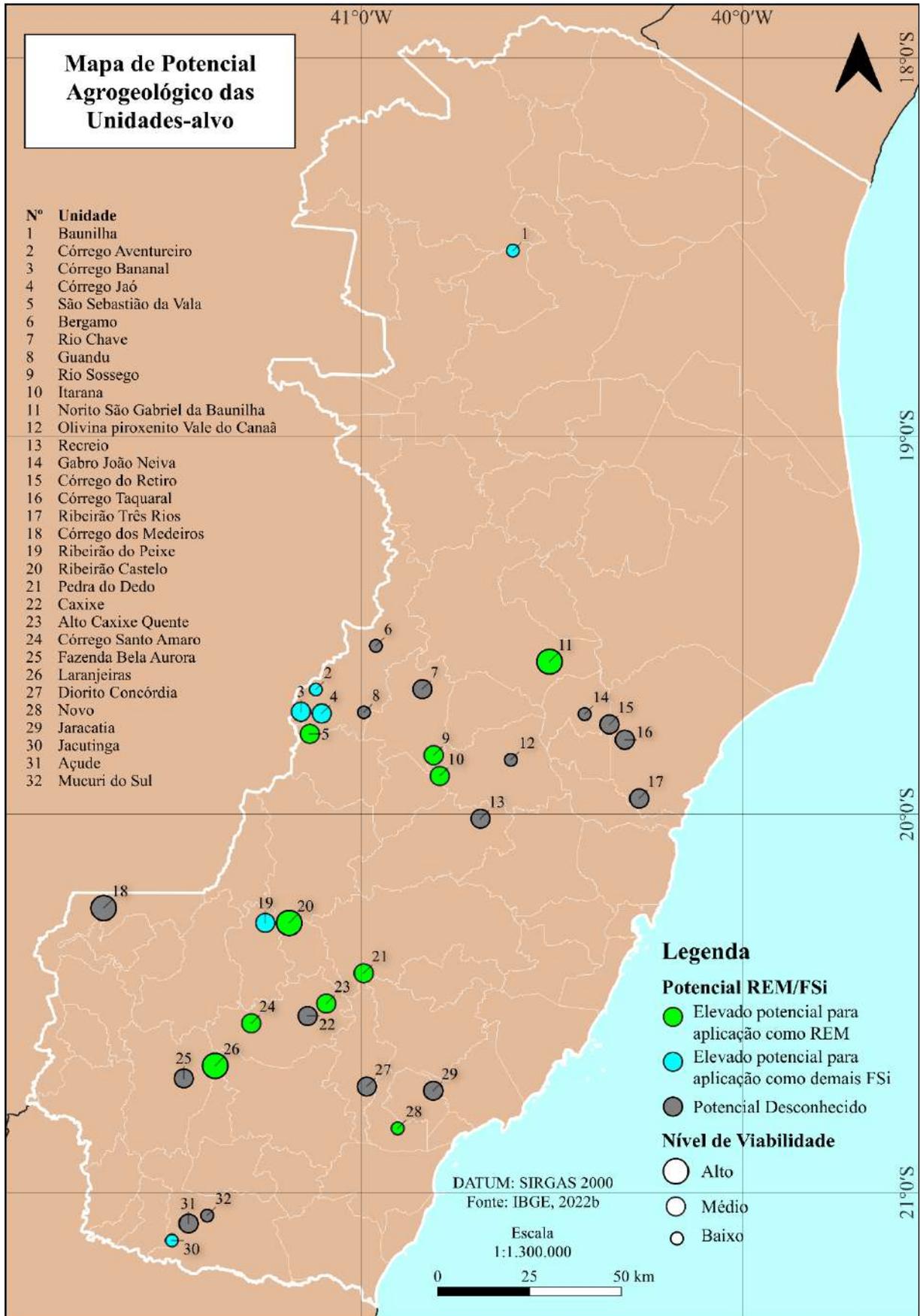


Figura 11 – Mapa de potencial agrogeológico das unidades ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo. Elaboração própria.

Foi possível observar a presença dos nutrientes Ca, Mg, Fe e do elemento benéfico Si em teores elevados para todas as unidades-alvo. Mn foi um nutriente frequentemente presente em teores superiores a 0,1% nas rochas estudadas. Para as rochas que apresentaram teores de biotita próximos ou superiores a 10%, K₂O foi observado em teores de 1% p/p ou mais, configurando estas unidades como potenciais REM. P₂O₅ ultrapassou ou esteve muito próximo de 1% p/p em quase todas as unidades que atenderam aos requisitos da IN 05/2016 (Brasil, 2016a).

A Figura 11 apresenta de forma esquemática os resultados do presente estudo, representando a distribuição das unidades-alvo no estado do Espírito Santo e indicando o potencial das mesmas como REM/FSi, bem como o Nível de Viabilidade com relação à implementação da produção e estabelecimento de um mercado consumidor para fertilizantes destas classes.

As unidades Laranjeiras (CI Santa Angélica), Ribeirão Castelo (CI Venda Nova) e Norito São Gabriel da Baunilha apresentam grande destaque, pois, além de configurarem como potenciais REM fontes de K e P, também se enquadram como unidades que possuem uma robusta infraestrutura, que viabiliza o aproveitamento de resíduos das atuais indústrias minerárias que operam nas mesmas, apresentando ainda localização favorável a um posicionamento assertivo na comercialização de produtos REM e FSi. São unidades de alta relevância para a indústria de RO, com extensas lavras e grande número de municípios produtores de café em suas proximidades.

Para a unidade Córrego dos Medeiros, apesar de não terem sido encontrados estudos que providenciassem dados de estimativa modal ou de geoquímica dos dioritos que a compõem, é possível observar a maior quantidade de municípios produtores de café em suas imediações, levando em conta todas as unidades-alvo selecionadas. A identificação do potencial REM/FSi desta unidade não foi possível, devido a uma carência de dados geoquímicos.

As unidades Ribeirão Três Rios (CI Fundão), Açude (CI Mimoso do Sul), São Sebastião da Vala (CI Lagoa Preta), Córrego Santo Amaro (CI Alto Chapéu), Córrego do Retiro e Córrego Taquaral (ambas do CI Aracruz), apesar de apresentarem maiores limitações com relação a potenciais consumidores, demonstraram bom potencial para a implementação da produção de resíduos com potencial para emprego como produtos agrícolas, visto que são visadas pela indústria de RO e possuem áreas significativas em regime de lavra. Destas, as unidades Córrego Santo Amaro e São Sebastião da Vala apresentam ainda potencial para emprego como REM.

As unidades Alto Caxixe Quente (CI Castelo), Pedra do Dedo (CI Aracê), Rio Sossego e Itarana (ambas do CI Várzea Alegre) apresentaram potencial para o emprego como REM e proximidade de um número razoável de municípios produtores de café. Considerando possíveis atividades futuras de extração mineral (no caso, a unidade Alto Caxixe Quente já possui área em lavra), estas unidades apresentam excelentes oportunidades para a implementação de sistemas integrados de produção de REM a partir dos resíduos da mineração, podendo estes processos serem postos em prática já no início das operações da mina.

As unidades Ribeirão do Peixe (CI Venda Nova), Jacutinga (CI Mimoso do Sul), Baunilha e as unidades Córrego Bananal, Córrego Jaó e Córrego Aventureiro (estas três integrando o CI Lagoa Preta) apresentaram potencial como FSi e Nível de Viabilidade variando de Médio a Baixo. Para tais unidades, o emprego como insumos agrícolas é possível, visto o alto teor de Ca, Mg, Fe, Si e em alguns casos de Mn e Co também.

No caso da unidade Novo (CI Rio Novo do Sul), caracterizada como potencial REM, foi observado o menor índice de Nível de Viabilidade. Este fato se deve, parcialmente, devido a uma maior distância que esta apresenta com relação a municípios produtores de café, fato explicado pela sua maior proximidade do litoral capixaba.

As unidades que apresentaram Nível de Viabilidade Médio, porém que carecem de descrições petrográficas e geoquímicas, são as unidades Rio Chave (CI Itapina), Caxixe (CI Castelo), Fazenda Bela Aurora (CI Santa Angélica), Jaracatia (CI Iconha), Recreio e Diorito Concórdia. As unidades Mucuri do Sul (CI Mimoso do Sul), Guandu (CI Ibituba), Olivina Piroxenito Vale do Canaã, Gabro João Neiva e Bergamo também carecem de descrições petrográficas e geoquímicas, porém, estas apresentaram Baixo Nível de Viabilidade.

7. CONCLUSÃO

As unidades-alvo estudadas nesta monografia apresentaram, com um pequeno número de exceções, teores de sílica livre, soma de bases e de elementos potencialmente tóxicos em conformidade com a IN 05/2016 (Brasil, 2016a). No total, 16 unidades apresentaram favorabilidade para emprego como insumos agrícolas derivados de rochas silicáticas. Todas apresentaram potencial como fontes dos macronutrientes Ca e Mg, do micronutriente Fe e do elemento benéfico Si. Algumas unidades apresentaram ainda potencial para disponibilização dos macronutrientes K e P, dos micronutrientes Cl, Mn e Ni e do elemento benéfico Co.

As análises dos dados disponíveis nos estudos permitiram a caracterização de um total de dez unidades que apresentam alto potencial para emprego como Remineralizadores. Este foi o caso para as unidades Laranjeiras, Ribeirão Castelo, Norito São Gabriel da Baunilha, Córrego Santo Amaro, Rio Sossego, São Sebastião da Vala, Pedra do Dedo, Itarana, Alto Caxixe Quente e Novo. Estas unidades atenderam aos requisitos dispostos na IN 05/2016 (Brasil, 2016a) e apresentam potencial como fonte de K, Ca, Mg, Fe e Si, além de outros nutrientes e elementos benéficos.

Outras seis unidades foram caracterizadas como potenciais Fertilizantes Silicáticos. Este foi o caso para as unidades Ribeirão do Peixe, Córrego Bananal, Baunilha, Córrego Aventureiro, Córrego Jaó e Jacutinga. Estas unidades não alcançaram teores de K_2O acima de 1% p/p, de acordo com o prescrito na IN 05/2016 (Brasil, 2016a), porém, apresentam potencial como fonte de Ca, Mg, Fe e Si, além de outros nutrientes e elementos benéficos.

Teores de K_2O em conformidade com a normativa foram observados com maior frequência nas unidades básicas a intermediárias que apresentaram biotita em teores próximos ou acima de 10%. A ocorrência deste mineral nas unidades intermediárias a ultrabásicas da Supersuíte G5, por vezes presente em faixas de 10 a 30% da composição total da rocha, representa um alto potencial para a disponibilização do elemento potássio para as plantas. Rochas com teores de apatita acima de 1% modal também foram observadas, o que, aliado à concentração de P_2O_5 observada em diversas instâncias na faixa de 1% p/p, indica que, de modo geral, as unidades-alvo do estudo também apresentam potencial como fontes do nutriente fósforo.

As unidades ultrabásicas a intermediárias da Supersuíte G5 apresentam ainda um posicionamento estratégico, pois se situam a poucos quilômetros de municípios com produção agrícola substancial, com destaque para a cafeicultura. Além disso, as unidades-alvo se situam próximas de rodovias estaduais e federais, permitindo assim o escoamento de produtos REM e FSi para os municípios do ES e dos estados vizinhos. Diversas unidades já são lavradas, muitas delas figurando como importantes alvos para o mercado de RO. No total, mais de 7.000 ha destas unidades atualmente se apresentam em regime de concessão de lavra, representando um elevado potencial para a geração de resíduos.

Observa-se um cenário favorável à implementação de trabalhos de pesquisa, direcionados às unidades identificadas no presente estudo como potenciais REM ou FSi, visando uma caracterização completa e aprofundada embasada nas normativas vigentes

atualmente, no intuito de disponibilizar estes produtos ao mercado, fornecendo assim uma solução sustentável para o descarte de resíduos da mineração e diminuindo a dependência externa do Brasil com relação a produtos da classe dos fertilizantes.

8. RECOMENDAÇÕES

Foi observada uma escassez de dados geoquímicos para grande parte das unidades-alvo, inclusive de unidades que atualmente possuem parte de suas áreas sob regime de concessão de lavra e/ou localização favorável à implementação logística de uma rede de distribuição de produtos do grupo dos Agrominerais Silicáticos. Para estas unidades, estudos que visem caracterizá-las petrograficamente e efetuem, tanto estimativas modais em lâmina, como análises geoquímicas, ambas com espaços amostrais significativos, serão cruciais para interpretações acerca de seus potenciais como REM ou FSi.

Algumas unidades apresentaram dados de petrografia e de geoquímica na literatura, porém, os espaços amostrais apresentados nos estudos se mostraram muito limitados, o que dificultou a assertividade ao determinar o potencial da unidade como REM ou FSi. Este fato foi observado para unidades como o Norito São Gabriel da Baunilha, Norito Baunilha, Novo (CI Rio Novo do Sul), Córrego Bananal e Córrego Jaó (ambos do CI Lagoa Preta). O posicionamento adotado para estas unidades foi a utilização e interpretação dos dados disponíveis, mesmo que escassos. Para estas unidades recomenda-se a elaboração de análises modais e de litogeoquímica com espaços amostrais que auxiliem na determinação da variabilidade dos dados.

Compreende-se também que as rochas ácidas da Supersuíte G5 no estado do Espírito Santo podem apresentar teores inferiores a 25% de quartzo modal, atendendo ao padrão de qualidade da IN 05/2016 (Brasil, 2016a). Apesar disto, a análise de todas estas unidades tornaria o estudo muito extenso. Reconhece-se aqui a necessidade de, em momentos futuros, avaliar o potencial destas rochas e até mesmo de outras com teores de quartzo modal acima de 25%, pois, mesmo não se enquadrando como REM, podem ainda figurar como FSi. Deve-se ainda considerar o fato de que algumas destas rochas são também exploradas pela indústria de RO podendo, ao longo do processo produtivo, gerar resíduos passíveis de se enquadrarem nas definições de agrominerais silicáticos.

Com relação ao dimensionamento da produção de REM/FSi a partir dos resíduos das lavras que atuam nas unidades-alvo, um estudo capaz de determinar o volume aproximado de disponibilidade do material de descarte, fazendo uso de dados de produtividade média e média das perdas, auxiliaria determinação do potencial de abastecimento do produto, visando uma produção em linha com as demandas dos consumidores.

Por fim, é sugerido o estabelecimento de legislações estaduais que estabelecem procedimentos para armazenamento adequado dos resíduos das indústria mineral, com separação de pilhas por litologia, a fim de evitar a mistura de materias com composições químicas e mineralógicas distintas, garantindo a homogeneidade dos resíduos e possibilitando aplicações futuras, caso estes venham a apresentar comprovada aplicação como REM ou FSi.

9. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **SIGMINE - Sistema de Informações Geográficas da Mineração**. 2023. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>. Acesso em: 01 set. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7225**: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Pesquisa Setorial: Macro Indicadores**. 2024. Disponível em: https://anda.org.br/pesquisa_setorial/. Acesso em: 8 abr. 2024.

ARANDA, R. O.; CHAVES, A. O.; JÚNIOR, E. B. M.; JUNIOR, R. V. Petrology of the Afonso Cláudio Intrusive Complex: New insights for the Cambro-Ordovician post-collisional magmatism in the Araçuaí-West Congo Orogen, Southeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 98, p. 1-19, 2020.

BARTHELMY, D. **Apatite Mineral Data**. Mineralogy Database, 2014. Disponível em: <https://webmineral.com/data/Apatite.shtml>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BARTHELMY, D. **Biotite Mineral Data**. Mineralogy Database, 2014. Disponível em: <https://webmineral.com/data/Biotite.shtml>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BAYER, P.; SCHMIDT-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 Rundschau**, Stuttgart, v. 76, n. 2, p. 357-371, 1987.

BENEDUZZI, E. B. **Rochagem: Agregação das Rochas como Alternativa Sustentável para a Fertilização e Adubação de Solos**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BLASKOWSKI, A. E.; PINTO, A. C.; PETITO, A. P. B.; SILVA, C. R.; CUNHA, I.; PIMENTEL, J.; CUNHA, L. M.; BERGMANN, M.; ALMEIDA, M. E.; MAIA, M. A. M.; RAMOS, M. A. B.; JACQUES, P. D. (org.). **CPRM e os ODS: Agrogeologia**. Rio de Janeiro: CPRM, 2020.

BORGES, A. L.; SILVA, D. J. Fertilizantes para fertirrigação. *In*: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; FILHO, M. A. C. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 771 p.: il.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 118, n. 240, 17 dez. 1980.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 6.934, de 13 de julho de 1981. Altera a 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, estimulantes, ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 119, n. 43, p. 13189, 15 jul. 1981.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 135, n. 184, p. 21201-21246, 24 set. 1997.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 138, n. 138, p. 1-8, 19 jul. 2000.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. 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 à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 141, n. 10, p. 2-11, 15 jan. 2004.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 35, de 4 de julho de 2006. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 143, n. 132, p. 32-34, 12 jul. 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete da Ministra. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 146, n. 142, p. 20-24, 28 jul. 2009.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Decreto nº 8.059, de 26 de julho de 2013. 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 à agricultura. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 150, n. 144, p. 2-11, 29 jul. 2013.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. 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. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 150, n. 240, p. 1, 11 dez. 2013.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. 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 à agricultura. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 151, n. 252, p. 24-27, 30 dez. 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete da Ministra. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 49, p. 10-11, 14 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete da Ministra. Instrução Normativa nº 6, de 10 de março de 2016. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 49, p. 11-13, 14 mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete do Ministro. Instrução Normativa nº 46, de 22 de novembro de 2016. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 153, n. 234, p. 4-13, 7 dez. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete da Ministra. Instrução Normativa nº 39, de 8 de agosto de 2018. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 155, n. 154, p. 19-32, 10 ago. 2018.

BRASIL. Ministério da Economia. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portaria nº 177, de 15 de maio de 2020. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 94, p. 32, 19 maio 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Gabinete da Ministra. Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 158, n. 134, p. 5-17, 15 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Portal .periodicos. CAPES**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ezl.periodicos.capes.gov.br/index.php?>. Acesso em: 26 maio 2024.

BOWEN, N. L. The reaction principle in petrogenesis. **The Journal of Geology**, Washington, v. 30, n. 3, p. 177-198, 1922.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL; CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. **PIB do Agronegócio cai no terceiro trimestre e acumula baixa de 0,91% em 2023**. São Paulo: ESALQ, 2023. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 19 mar. 2024.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos Requeridos à Nutrição de Plantas. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V.; BARROS, V. H.; FONTES, N. F.; CANTARUTTI, R. L. F.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. 202404A.zip. *In*: MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Mapas nacionais e Bases georreferenciadas - Rodovias - Base Georreferenciada**. DNIT, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>. Acesso em: 19 jun. 2024.

ESPÍRITO SANTO. Governadoria do Estado. Lei nº 4.503, de 02 de janeiro de 1991. Transforma a Reserva Florestal de Duas Bocas, criada pela Lei Nº 2.095, de 12 de janeiro de 1965, em Reserva Biológica Estadual de Duas Bocas, com área de 2.910 hectares. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**: Vitória, jan. 1991.

ESPÍRITO SANTO. Governadoria do Estado. Lei nº 9.462, de 11 de junho de 2010. Institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação - SISEUC e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**: Vitória, p. 1-7, 14 jun. 2010.

ESPÍRITO SANTO. Governadoria do Estado. Decreto nº 3385-R, de 20 de setembro de 2013. Institui o Parque Estadual Forno Grande e dá outras Providências. **Diário Oficial do Estado do Espírito Santo**: Vitória, p. 5-8, 23 set. 2013.

FERNANDES, L.; MARQUES, M. D. (coord.). **Anuário Mineral Estadual**: Espírito Santo. Brasília: DNPM, 2016. 70 p., il.

FERREIRA, G. E.; JUNIOR, C. A. F. F. Mercado de Agregados no Brasil. *In*: ALMEIDA, S. L. M.; LUZ, A. B. (ed.). **Manual de agregados para a construção civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. 432 p.

FÉBOLI, W. S. (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Domingos Martins - Folha SF.24-V-A-III**. Brasília: DNPM/CPRM, 1993. 192 p.: il. 2 mapas. Escala 1:100.000.

FÉBOLI, W. S. (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Piúma - Folha SF.24-V-A-VI**. Brasília: DNPM/CPRM, 1993. 140 p.: il. 2 mapas. Escala 1:100.000.

FILHO, C. C. **O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais: Cenário Mundial**. ABIROCHAS. 2021. Disponível em: <https://abirochas.com.br/dados-setoriais/panorama-setorial/>. Acesso em: 4 abr. 2024.

FILHO, C. C. **O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais: Produção Brasileira de Lavra. ABIROCHAS.** 2021. Disponível em: <https://abirochas.com.br/dados-setoriais/panorama-setorial/>. Acesso em: 4 abr. 2024.

FONTES, C. Q. (org.). **Projeto Mimoso do Sul: Relatório Final.** Belo Horizonte: CPRM, 1981.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops and livestock products.** 2024. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 18 mar. 2024.

FORDHAM, A. W. Weathering of Biotite into Dioctahedral Clay Minerals. **Clay Minerals**, Londres, v. 25, p. 51-36, 1990.

GOOGLE LLC. **Google Scholar.** 2024. Disponível em: <https://scholar.google.com/>. Acesso em: 26 maio 2024.

HARTWIG, M. E.; MELO, M. G.; PETERLE, D. T.; FEUCHARD, L. D. Geologia do Complexo Intrusivo Santa Angélica no Orógeno Araçuaí, Estado do Espírito Santo: perspectivas para o setor de rochas ornamentais. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 47, n. 2, p. 1-19, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas Territoriais - 2022 - AR_BR_RG_UF_RGINT_MES_MIC_MUN_2022.xls.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads>. Acesso em: 23 abr. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 23 abr. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Agência IBGE Notícias: PIB cresce 2,9% em 2022 e fecha o ano em R\$ 9,9 trilhões.** 2023. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/36371-pib-cresce-2-9-em-2022-e-fecha-o-ano-em-r-9-9-trilhoes#:~:text=O%20PIB%20totalizou%20R%24%209,%2C4%25%20em%202021>. Acesso em: 19 mar. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agropecuária.** 2024. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/br>. Acesso em: 19 abr. 2024.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Geomática shapefiles - Sistema de Transporte - Rodovias.** Espírito Santo, 2024. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/geomatica/shapefiles>. Acesso em: 13 jul. 2024.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Reserva Particular do Patrimônio Natural.** Espírito Santo, 2024. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/grn/rppn>. Acesso em: 27 fev. 2024.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Unidades de Conservação**. Espírito Santo, 2024. Disponível em: <https://iema.es.gov.br/unidades-de-conservacao>. Acesso em: 27 fev. 2024.

LEPSCH, I. F. **19 lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 456 p. ISBN 978-85-7975-029-8

LOPES, R. G. **Geologia da Região de Colatina (ES): Uma Abordagem Geocronológica, Petrográfica e Estrutural por ASM**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

LORENA, R. B.; BERGAMASCHI, R. B.; JABOR, P. M.; JÚNIOR, F. J. T. Mapeamento e análise do uso e cobertura da terra do Estado do Espírito Santo: 2010, a partir de imagens de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. p. 7695-7701.

LUDKA, I. P.; WIEDEMANN, C. M.; TÖPFNER, C. On the origin of incompatible element enrichment in the Venda Nova pluton, State of Espírito Santo, southeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 11, n. 5, p. 473-486, 1998.

LUDKA, I. P.; WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M. Further Signs of an Enriched Mantle Source Under the Neoproterozoic Araçuai-Ribeira Mobile Belt. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 95-98, 2000.

MEDEIROS, S. R.; WIEDEMANN, C. R. Magmatismo Bimodal Pós-Colisional Cálcio-Alcalino de Médio a Alto-K no Cinturão Ribeira: Estudo Geoquímico do Complexo Intrusivo de Várzea Alegre (CIVA) - ES. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília, v. 30, n. 4, p. 707-716, 2000.

MEDEIROS, S. R.; WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M.; VRIEND, S. Evidence of mingling between contrasting magmas in a deep plutonic environment: the example of Várzea Alegre, in the Ribeira Mobile Belt, Espírito Santo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 73, n. 1, p. 99-119, 2001.

MENDES, J. C. **Caracterização Petrogenética das Bordas Noríticas e Charnokitóides dos Maciços de Venda Nova e Várzea Alegre - ES**. 1996. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

MENDES, J. C.; WIEDEMANN, C. M.; MCREATH, I. Norito e Charnoenderbitos da Borda do Maciço Intrusivo de Venda Nova, Espírito Santo. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 99-124, 2002.

MENDES, J. C.; CAMPOS, C. M. P. Norite and charnockites from the Venda Nova Pluton, SE Brazil: Intensive parameters and some petrogenetic constraints. **GEOSCIENCE FRONTIERS**, Beijing, v. 3, n. 6, p. 789-800, 2012.

MEYER, A. P. **Geologia e Geoquímica da Porção Sul do Maciço Castelo - ES**. 2017. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **SIPEAGRO - Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários**. 2023. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/SIPEAGRO.html>. Acesso em: 17 set. 2023.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 11 abr. 2024.

NOVO, T. A. (org.). **Programa Geologia do Brasil – Geologia e Recursos Minerais da Folha Manhumirim - SE.24-V-A-I**. Belo Horizonte: CPRM, 2010. 77 p.: il. 1 mapa. Escala 1:100.000.

OPEN DATA SOFT. **World Administrative Boundaries - Countries and Territories**. 2024. Disponível em: <https://public.opendatasoft.com/explore/dataset/world-administrative-boundaries/export/>. Acesso em: 13 jul. 2024.

PÁDUA, E. J. **Rochagem como Adubação Complementar para Culturas Oleaginosas**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

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 Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, v. 110, p. 307-323, 2001.

PEDROSA-SOARES, A. C. (coord.). **Programa Geologia do Brasil – Levantamentos Geológicos Básicos: Geologia da Folha Ecoporanga - SE.24-Y-A-III**. Espírito Santo: UFMG/CPRM, 2007. 80 p.: il. 1 mapa. Escala 1:100.000.

PEDROSA-SOARES, A. C. (coord.). **Programa Geologia do Brasil – Levantamentos Geológicos Básicos: Geologia da Folha Mantena - SE.24-Y-A-VI**. Espírito Santo: UFMG/CPRM, 2007. 75 p.: il. 1 mapa. Escala 1:100.000.

PEDROSA-SOARES A. C.; CAMPOS C. P.; NOCE, C.; SILVA, L. C.; NOVO, T.; RONCATO, J.; MEDEIROS, S.; CASTAÑEDA, C.; QUEIROGA, G.; DANTAS, E.; DUSSIN, I.; ALKMIM, F. Late Neoproterozoic–Cambrian granitic magmatism in the Araçuaí orogen (Brazil), the Eastern Brazilian Pegmatite Province and related mineral resources. **Geological Society**, Londres, v. 350, p. 25-51, 2011.

PINHEIRO, W. F. (coord.). **Cadastro Nacional de Produtores de Brita: Ano Base 2015**. Brasília: DNPM, 2018. 82 p., il.

ROCHA, C. H. B.; SOUSA, J. G. Análise Ambiental do Processo de Extração e Beneficiamento de Rochas Ornamentais com Vistas a uma Produção Mais Limpa: Aplicação Cachoeiro de Itapemirim - ES. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 9, p. 1-17, 2010.

SANTOS, H. G.; JÚNIOR, W. C.; DART, R. O.; ÁGILO, M. L. D.; SOUSA, J. S.; PARES, J. G.; FONTANA, A.; MARTINS, A. L. S.; OLIVEIRA, A. P. **O Novo Mapa de Solos do Brasil: Legenda Atualizada**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 67 p. ISSN 1517-2627.

SANTOS, M. M. A.; DESTEFANI, A. Z.; HOLANDA, J. N. F. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 4, p. 1442-1450, 2013.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Ato nº 294/PR/2022, de 14 de outubro de 2022. **SGB-CPRM**: Rio de Janeiro, 2022.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Programa do SGB avalia potencial brasileiro em agrominerais e contribui para o desenvolvimento da agricultura**. SGB-CPRM, 2023. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/publique/Noticias/Programa-do-SGB-avalia-potencial-brasileiro-em-agrominerais-e-contribui-para-o-desenvolvimento-da-agricultura-7846.html#:~:text=Agrominerais%20silic%C3%A1ticos%20%C3%A9%20o%20termo,reminealiza%C3%A7%C3%A3o%20de%20solos%20ou%20rochagem>. Acesso em: 8 abr. 2024.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **RIGeo - Repositório Institucional de Geociências: Mapa geológico do estado do Espírito Santo**. 2023. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/15564>. Acesso em: 01 set. 2023.

SIGNORELLI, N. (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Afonso Cláudio - Folha SF.24-V-A-II**. Brasília: DNPM/CPRM, 1993. 176 p.: il. 2 mapas. Escala 1:100.000.

SILVA, J. N. (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Cachoeiro de Itapemirim - Folha SF.24-V-A-V**. Brasília: DNPM/CPRM, 1993. 176 p.: il. 2 mapas. Escala 1:100.000.

SILVA, G.F.; SILVA, A. D. R.; GAIA, S. M. S. (org.). **An overview of Critical and Strategic Minerals of Brazil: 2024 Edition**. Brasília: SGB-CPRM, 2024. 35 p.

SILVEROL, A. C.; FILHO, L. M. Aproveitamento de Rejeitos de Mineração e Mantos de Alteração de Rocha para Fertilização de Solos Através da Técnica de Rochagem. **GEOGRAFARES**, Vitória, nº 5, p. 7-16, 2006.

STRECKEISEN, A. Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks: Recommendations of the IUGS Subcommission on the Schematics of Igneous Rocks. **Geologische Rundschau**, Stuttgart, v. 63, p. 773-786, 1974.

TEIXEIRA, P. A. D.; FERNANDES, C. M.; MENDES, J. C.; MEDEIROS, S. R.; ROCHA, I. S. U-PB LA-ICP-MS and geochemical data of the Alto Chapéu Pluton: Contributions on bimodal post-collisional magmatism in the Araçuaí belt (SE Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, n. 103, p. 1-18, 2020.

TULLER, M. P. (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Colatina - Folha SE.24-Y-C-VI**. Brasília: DNPM/CPRM, 1993. 176 p.: il. 2 mapas. Escala 1:100.000.

UHLEIN, A.; JUNIOR, J. R.; EGYDIO-SILVA, M.; PARIZEK-SILVA, Y. M.; ALVES, M. Geologia, Petrologia e Contexto Geotectônico dos Gnaisses e Granitóides da Região de Colatina, Espírito Santo. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 22, n. 1, p. 66-83, 2014.

VIEIRA, V. S. (org.). **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: Baixo Guandu - Folha SE.24-Y-C-V**. Brasília: DNPM/CPRM, 1993. 204 p.: il. 2 mapas. Escala 1:100.000.

VIEIRA, V. S. **Geoquímica do Maciço Lagoa Preta, MG/ES: Exemplo de Plutonismo em Domínio de Arco Magmático**. 1997. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1997.

VIEIRA, V. S.; DUSSIN, T. M.; HORN, A. H. Plutonismo Sin- e Tardi/Pós-Colisional no Brasileiro: Exemplo do Maciço Lagoa Preta (MG/ES). **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 14, n. 1-2, p. 87-96, 2006.

VIEIRA, V. S.; MENEZES, R. G. (org.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais**. Belo Horizonte: SGB-CPRM, 2015. 289 p.: il. 2 mapas. Escalas 1:400.000.

VIEIRA, V. S. (org.). **Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo**. Belo Horizonte: SGB-CPRM, 2018. 1 mapa. Escala 1:400.000.

VIEIRA, V. S.; LOMBELLO, J. C.; GOMES, D. G. C.; OLIVEIRA, S. A. M. (org.). **Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo: Mapa de Potencialidades**. Belo Horizonte: SGB-CPRM, 2021. 88 p.: il. 1 mapa. Escala 1:400.000.

WARR, L. N. IMA–CNMNC approved mineral symbols. **Mineralogical Magazine**, Cambridge, v. 85, n. 3, p. 291–320, 2021.

WHITE, A. F. Determining mineral weathering rates based on solid and solute weathering gradients and velocities: application to biotite weathering in saprolites. **Chemical Geology**, v. 190, p. 69-89, 2002.

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**, Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 25-38, 2001.

WISNIEWSKI, L.; PEDROSA-SOARES, A.; MEDEIROS-JUNIOR, E.; BELÉM, J.; DUSSIN, I.; QUEIROGA, G. Ultra-high temperature, mid-crustal level, contact metamorphism imprinted on granulite facies paragneisses by a norite intrusion (São Gabriel da Baunilha, Araçuaí orogen, southeast Brazil). **Journal of Metamorphic Geology**, p. 1-29, 2021.

ZANON, M. L. **A Geologia do Maciço Santa Angélica e suas encaixantes (Espírito Santo)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ZANON, M. L.; CHAVES, A. O.; RANGEL, C. V. G. T.; GABURO, L.; PIRES, C. R. Os aspectos geológicos do Maciço Santa Angélica (ES): uma nova abordagem. **Brazilian Journal of Geology**, v. 45, n. 4, p. 609-633, 2015.

ZHU, Y.; ZHANG, X.; CHEN, Y.; XIE, Q.; LAN, J.; QIAN, M.; HE, N. A comparative study on the dissolution and solubility of hydroxylapatite and fluorapatite at 25 °C and 45 °C. **Chemical Geology**, v. 268, p. 89-96, 2009.