

BREVE ANÁLISE DA GEODIVERSIDADE DE SANTA CATARINA APLICADA À AGRICULTURA

Edson Luiz Ávila¹
Eliane dos Santos²
Mauricio Oliveira Righi da Silva³

Resumo: A geodiversidade de Santa Catarina abrange ampla variedade de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares com potencial uso agrícola como remineralizadores e corretivos minerais. Apesar da relevância desses recursos, inexistem análises regionais sistemáticas sobre sua aplicabilidade agrônômica, configurando uma lacuna científica. Este estudo tem como objetivo avaliar a potencialidade das principais litologias do estado, organizadas segundo seus domínios geológicos, relacionando sua mineralogia às funções agrícolas previstas na legislação brasileira (IN nº 5/2016; IN nº 53/2013). A metodologia baseou-se na revisão bibliográfica e cartográfica, integrando informações mineralógicas e usos potenciais. Os resultados indicaram que os basaltos do Grupo Serra Geral apresentam alta potencialidade como fontes de K, Ca e Mg; rochas alcalinas, como fonolitos, nefelina sienitos e carbonatitos, configuram alternativas estratégicas para K e P; granitos tardi e pós colisionais, e os inseridos e relacionados ao Complexo Brusque, apresentam concentrações elevadas de K₂O e, quando submetidos a processos hidrometalúrgicos, podem constituir fontes complementares de K; gnaisses exibem potencial intermediário, associado à liberação lenta de nutrientes; e metacarbonatos destacam-se como corretivos de acidez. O Complexo Granulítico, em contraste, apresenta baixa reatividade agrícola. A análise comparativa com outras regiões brasileiras confirma que a diversidade litológica catarinense constitui um mosaico de opções capaz de reduzir a dependência de fertilizantes importados, promover a sustentabilidade agrícola e alinhar-se às metas do Plano Nacional de Fertilizantes 2022–2050

Palavras-chave: Remineralizador. Sustentabilidade. Fertilidade do solo. Santa Catarina.

BRIEF ANALYSIS OF SANTA CATARINA'S GEODIVERSITY APPLIED TO AGRICULTURE

Abstract: Santa Catarina's geodiversity encompasses a wide variety of igneous, metamorphic, and sedimentary rocks with potential agricultural uses as remineralizers and mineral correctives. Despite the importance of these resources, there are no systematic regional analyses of their agronomic applicability, creating a scientific gap. This study aims to evaluate the potential of the state's main lithologies, organized according to their geological domains, relating their mineralogy to the agricultural functions established by Brazilian legislation (IN N°. 5/2016; IN N°. 53/2013). The

¹ Laborgeo LTDA, Tijucas, Brasil, edson.laborgeo@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5168-1390>

² Laborgeo LTDA, Tijucas, Brasil, eliane.laborgeo@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-7512-4223>

³ Laborgeo LTDA, Tijucas, Brasil, mauricio.o.righi@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-3641-6486>

methodology was based on a bibliographic and cartographic review, integrating mineralogical information and potential uses. The results indicated that the basalts of the Serra Geral Group have high potential as sources of K, Ca, and Mg; alkaline rocks, such as phonolites, nepheline syenites, and carbonatites, represent strategic alternatives for K and P; Late and post-collisional granites, and those inserted into and related to the Brusque Complex, present high concentrations of K_2O and, when subjected to hydrometallurgical processes, can constitute complementary sources of K; gneisses exhibit intermediate potential, associated with slow nutrient release; and metacarbonates stand out as acidity correctors. The Granulitic Complex, in contrast, presents low agricultural reactivity. A comparative analysis with other Brazilian regions confirms that Santa Catarina's lithological diversity constitutes a mosaic of options capable of reducing dependence on imported fertilizers, promoting agricultural sustainability, and aligning with the goals of the 2022–2050 National Fertilizer Plan.

Keywords: Remineralizer. Sustainability. Soil fertility. Santa Catarina.

BREVE ANÁLISIS DE LA GEODIVERSIDAD DE SANTA CATARINA APLICADA A LA AGRICULTURA

Resumen: La geodiversidad de Santa Catarina abarca una amplia variedad de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias con potenciales usos agrícolas como remineralizadores y correctivos minerales. A pesar de la importancia de estos recursos, no existen análisis regionales sistemáticos de su aplicabilidad agronómica, lo que crea una brecha científica. Este estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de las principales litologías del estado, organizadas según sus dominios geológicos, relacionando su mineralogía con las funciones agrícolas establecidas por la legislación brasileña (IN No. 5/2016; IN No. 53/2013). La metodología se basó en una revisión bibliográfica y cartográfica, integrando información mineralógica y usos potenciales. Los resultados indicaron que los basaltos del Grupo Serra Geral tienen un alto potencial como fuentes de K, Ca y Mg; las rocas alcalinas, como fonolitas, sienitas nefelínicas y carbonatitas, representan alternativas estratégicas para K y P; Los granitos tardíos y poscolisionales, así como los insertados y relacionados con el Complejo Brusque, presentan altas concentraciones de K_2O y, al someterse a procesos hidrometalúrgicos, pueden constituir fuentes complementarias de K; los gneises presentan un potencial intermedio, asociado a una lenta liberación de nutrientes; y los metacarbonatos se destacan como correctores de acidez. El Complejo Granulítico, en cambio, presenta baja reactividad agrícola. Un análisis comparativo con otras regiones brasileñas confirma que la diversidad litológica de Santa Catarina constituye un mosaico de opciones capaces de reducir la dependencia de fertilizantes importados, promover la sostenibilidad agrícola y alinearse con los objetivos del Plan Nacional de Fertilizantes 2022-2050.

Palabras clave: Remineralizador. Sostenibilidad. Fertilidad del suelo. Santa Catarina.

Introdução

A agricultura contemporânea enfrenta o desafio de ampliar a produção sem intensificar a degradação dos solos, recurso essencial já submetido a pressões críticas (Kopittke *et al.*, 2019). Estima-se que, em escala mundial, cerca de 10 milhões de hectares de terras agrícolas tornem-se improdutivas anualmente em função do manejo intensivo e da reposição insuficiente de nutrientes (Hossain, 2020; Scherr, 1999). Paralelamente, os rendimentos agrícolas mostram estagnação em diversos países (Brisson *et al.*, 2010), enquanto as mudanças climáticas impõem restrições adicionais (Hari; Molina; Senevieratne, 2020; Ray *et al.*, 2019). Embora necessária, a intensificação produtiva aumenta a pressão sobre sistemas já degradados, num contexto em que a reposição mineral continua negligenciada, caracterizando um processo global de mineração de nutrientes (Cakmak, 2002).

Apesar da ampla diversidade litológica do Brasil, com ocorrência de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, o país ainda importa cerca de 85% dos fertilizantes consumidos (Brasil, 2022; Embrapa, 2025). Essa dependência ocorre em Santa Catarina, onde a agricultura responde por uma parcela expressiva da economia. São mais de 140 mil estabelecimentos rurais, majoritariamente familiares, responsáveis por um Valor da Produção Agropecuária (VPA) de R\$ 63,3 bilhões (EPAGRI, 2025), o que reforça a necessidade de alternativas regionais sustentáveis.

Nesse cenário, os remineralizadores de solo se destacam como insumos estratégicos por fornecer nutrientes de forma gradual, recuperando a fertilidade natural e reduzindo a dependência externa (Van Straaten, 2007). Associam-se ainda benefícios ambientais, como menor lixiviação, redução de emissões e potencial contribuição para o sequestro de CO₂.

Este estudo tem como objetivo preencher a lacuna de pesquisas sobre a geodiversidade de Santa Catarina voltada ao uso agrícola das rochas, analisando os domínios geológicos do estado, relacionando suas características litológicas e

mineralógicas à potencialidade agrônômica e comparando os resultados com outras regiões brasileiras, à luz da legislação vigente.

Revisão Bibliográfica

O uso de pó de rocha na agricultura remonta às observações pioneiras de Justus von Liebig (1840) sobre a importância dos minerais na nutrição vegetal e às propostas de Julius Hensel (1894), que defendia o uso de rochas moídas como fonte natural de nutrientes, em alternativa aos fertilizantes minerais solúveis produzidos industrialmente.

No Brasil, Leonardos, Theodoro e Assad (2000) consolidaram a base científica da remineralização de solos, integrando-a ao conceito de Agrogeologia, posteriormente sistematizado por Van Straaten (2006, 2007).

Nas últimas décadas, o pó de rocha silicatado (SRPs) ganhou destaque em diferentes contextos. Em países da Europa e da América do Norte, pesquisas investigam o sequestro de CO₂ por meio do intemperismo acelerado de silicatos, processo conhecido como *enhanced weathering* (EW) (Hartmann et al., 2013; Beerling et al., 2018). Em regiões tropicais, especialmente no Brasil, acumulam-se evidências agrônômicas positivas, com o movimento da rochagem culminando na institucionalização do uso agrícola de SRPs (Manning; Theodoro, 2020). A agricultura orgânica já incorporava essa prática, o que ampliou a demanda por insumos compatíveis com sistemas produtivos sustentáveis (Abbott; Manning, 2015). Em paralelo, a mineração global gera grandes volumes de rejeitos finos, cujo aproveitamento agrícola pode mitigar passivos ambientais (Bian *et al.*, 2012).

No contexto brasileiro, diferentes litotipos têm sido testados como remineralizadores: basaltos do Grupo Serra Geral (Hanisch *et al.*, 2013; Melo; Silva, 2008), granitos (Silva et al., 2018; Ávila; Corrêa, 2023), gnaisses (Aquino et al., 2020), além de kamafugitos e fonolitos (Martins et al., 2010; Soratto et al., 2021; Correa; Oliveira, 2024). Ensaios em diferentes condições edafoclimáticas demonstram melhorias em atributos como pH, capacidade de troca catiônica (CTC) e

disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , além de ganhos de produtividade (Hanisch et al., 2024).

Estudos internacionais reforçam esse potencial. Manning (2010, 2017) revisou fontes minerais alternativas ao potássio solúvel, destacando feldspatos e fonolitos. Ensaios conduzidos em África, Ásia e Oceania confirmaram a eficácia do intemperismo acelerado em aumentar a disponibilidade de nutrientes e promover o sequestro de carbono (Beerling et al., 2018; Rempfert *et al.*, 2020). Hartmann et al. (2013) discutem ainda o papel da prática no contexto das estratégias globais de mitigação climática.

Do ponto de vista mineralógico, a eficácia dos SRPs depende da composição, granulometria e grau de intemperismo. Minerais félsicos, como feldspatos potássicos/sódicos e micas, apresentam dissolução lenta, ao passo que minerais máficos, como plagioclásios cálcicos, piroxênios, anfibólios e olivina, são mais reativos e liberam nutrientes gradualmente (Deer; Howie; Zussman, 2013; Anda; Shamshuddin; Fauziah, 2013; Ciceri; Allanore; Hartmann, 2017). Feldspatoides, por sua vez, são mais reativos que os feldspatos em função do menor teor de sílica (Harley; Gilkes, 2000).

A literatura propõe índices geoquímicos para avaliar a alteração mineral, como *Chemical Index of Alteration* (CIA), *Chemical Index of Weathering* (CIW) e *Plagioclase Index of Alteration* (PIA,) além de indicadores como Índice silício-alumínio (Ki) e Índice silício-sesquióxidos (Kr) (Nesbitt; Young, 1982, 1989; Prince; Velbel, 2003). No Brasil, tais métricas já foram aplicadas em basaltos, fonolitos e granitos (Ávila; Corrêa, 2023), revelando variações mineralógicas que condicionam a liberação de nutrientes.

Além da mineralogia, o tamanho das partículas influencia diretamente nas taxas de intemperismo. Partículas mais finas apresentam maior área superficial e solubilidade, como evidenciado em ensaios com feldspatos alcalinos, gnaisse, basalto e rochas vulcânicas (Wang et al., 2000; Gilman et al., 2001; Basak et al., 2018). No entanto, a relação não é linear, pois a dissolução tende a ocorrer em defeitos cristalinos localizados (Holdren; Speyer, 1985). Ensaios também mostram que biotita

de granulação grossa pode apresentar desempenho superior em relação a feldspatos de granulação fina, em função de sua estrutura lamelar (Mohammed et al., 2014).

Quanto às quantidades de aplicação, não existe consenso. As doses variam de menos de 1 t ha⁻¹ a mais de 100 t ha⁻¹, embora a maioria dos estudos utilize faixas entre 1 e 20 t ha⁻¹, compatíveis com práticas de calagem (Theodoro; Leonardos, 2000; Fageria; Baligar, 2008). Aplicações excessivas, acima de 50 t ha⁻¹, podem gerar desequilíbrios nutricionais, como observado por Priyono e Gilkes (2008) em ensaios com gnaisse e feldspato.

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2018), o estado de Santa Catarina apresenta solos formados sob clima subtropical úmido e forte influência do material de origem. Nas áreas basálticas do oeste e do planalto predominam Latossolos e Nitossolos, enquanto em relevo mais dissecado ocorrem Cambissolos e Neossolos Litólicos. Em terrenos de embasamento cristalino predominam Argissolos e Neossolos, e nas planícies quaternárias litorâneas e fluviais ocorrem Gleissolos, Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos em ambientes arenosos. Em geral, esses solos apresentam baixa disponibilidade natural de fósforo e, localmente, de potássio, o que reforça a importância do uso de corretivos e remineralizadores minerais.

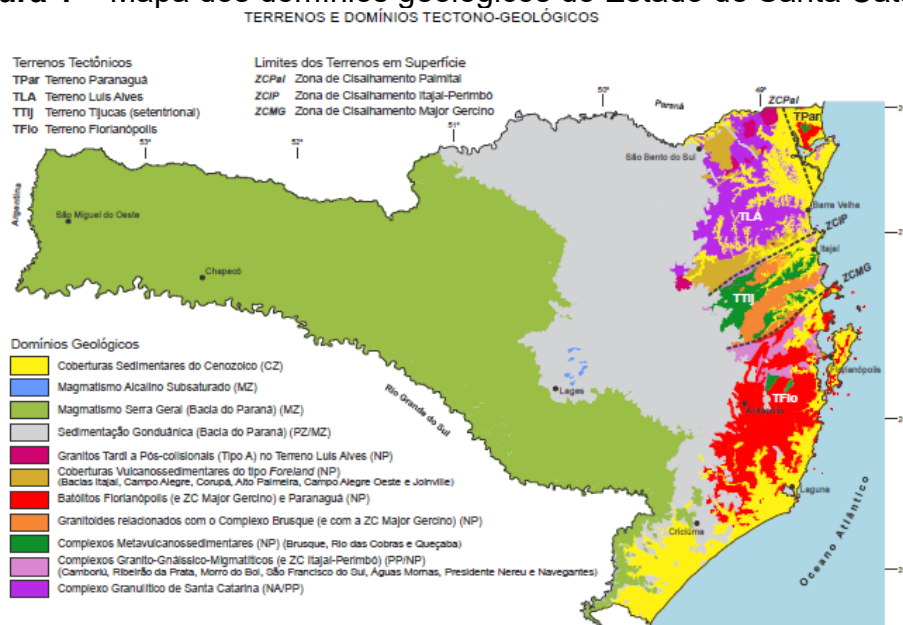
Metodologia

O estado de Santa Catarina, localizado na região Sul do Brasil e com área aproximada de 95.730 km², apresenta grande diversidade físico-natural, com planícies costeiras, serras e planaltos associados à Bacia Intracratônica do Paraná e ao embasamento cristalino e, sob clima subtropical úmido. A ocupação territorial, historicamente marcada pela colonização europeia e pela predominância de pequenas propriedades rurais, estruturou sistemas agrícolas diversificados que influenciam o uso do espaço geográfico regional.

Nesse contexto, o potencial agromineral das rochas do estado foi avaliado com base nos domínios tectono-geológicos do Mapa Geológico de Santa Catarina (CPRM,

2014) (Figura 1), considerando as litologias predominantes em cada unidade. Essa etapa foi fundamentada em revisão bibliográfica (Van Straaten, 2007; Manning, 2010; Theodoro et al., 2012; Melo; Silva, 2008), relacionando mineralogia, suscetibilidade ao intemperismo descrita na literatura e aplicabilidade agrícola das rochas

Figura 1 – Mapa dos domínios geológicos do Estado de Santa Catarina



Fonte: CPRM (2014).

O enquadramento das rochas em classes de potencial agrônômico baseou-se na mineralogia dominante e na suscetibilidade ao intemperismo descrita na literatura, distinguindo três classes: alto potencial (minerais máficos facilmente intemperizáveis), potencial intermediário (rochas feldspáticas ou mineralogicamente heterogêneas) e baixo potencial (materiais siliciclásticos quartzosos pobres em minerais nutrientes).

Para cada domínio, foram identificados os principais tipos de rochas e estabelecida uma classificação de potencial agrônômico segundo os seguintes critérios:

Rochas portadoras de minerais primários suscetíveis ao intemperismo, como olivina, piroxênios, plagioclásios cálcicos, feldspatóides, apatita e feldspatos potássicos, foram enquadradas como de alto potencial (Classe A), devido à

capacidade desses minerais de liberar nutrientes essenciais (K, Ca, Mg, P e micronutrientes).

Potencial intermediário, rochas de composição heterogênea ou de menor reatividade, como gnaisses, migmatitos, xistos e granitos regionais, cujo aproveitamento depende das condições locais de intemperismo e manejo. Em alguns casos, esse potencial pode ser descrito como intermediário (variável), indicando que sua aplicabilidade agrônômica depende fortemente da heterogeneidade mineralógica e das condições de alteração em cada ocorrência.

Baixo potencial são as litologias essencialmente inertes ou de baixa solubilidade, como granulitos e areias quartzosas, que apresentam reduzida liberação de nutriente

Também foram considerados a função no solo – remineralizadores (basaltos, diabásios, fonolitos, nefelina sienitos, carbonatitos, granitos tipo A e S), condicionadores (calcários, dolomitos, metacarbonatos, turfas) ou de uso misto (gnaisse, migmatitos, xistos) – e o enquadramento legal, conforme a Instrução Normativa MAPA nº 5/2016, que estabelece requisitos para registro de remineralizadores, incluindo composição química mínima ($\Sigma\text{CaO}+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O} \geq 9\%$ e $\text{K}_2\text{O} \geq 1\%$) e limites para SiO_2 livre e elementos potencialmente tóxicos, e a Instrução Normativa nº 53/2013, alterada pela IN nº 6/2016, que regulamenta a classificação, registro e comercialização de condicionadores de solo e outros insumos agrícolas. Materiais não contemplados pela legislação vigente foram classificados como Produto Novo, exigindo ensaios de eficiência agrônômica para registro.

Ressalta-se que não foram realizadas análises geoquímicas diretas das rochas. As inferências têm caráter preliminar e baseiam-se em associações mineralógicas descritas em literatura geológica secundária, incluindo artigos científicos, relatórios técnicos e mapas geológicos regionais (e.g., CPRM). As referências foram selecionadas pela relevância regional e pela disponibilidade de dados petrográficos e mineralógicos das unidades analisadas.

Esse conjunto de critérios possibilitou o enquadramento sistemático das rochas catarinenses, relacionando sua geodiversidade mineral às funções agronômicas e ao potencial de utilização como insumos minerais na agricultura sustentável.

Resultados e Discussões

A aplicação dos critérios metodológicos descritos permitiu organizar as litologias catarinenses segundo seus domínios geológicos, classificando-as em função da mineralogia predominante, da suscetibilidade ao intemperismo e da função agronômica potencial. Essa abordagem possibilita relacionar de forma sistemática a geodiversidade regional com o uso agrícola de cada tipo de rocha, seja como remineralizadores, corretivos ou condicionadores de solo.

A Quadro 1 apresenta a síntese desse enquadramento, destacando para cada domínio geológico as litologias mais representativas e o respectivo potencial agronômico.

Quadro 2 – Domínios geológicos e litologias representativas

Domínio Geológico	Litologias Representativas	Minerais Principais	Potencial Agronômico
Coberturas Sedimentares do Cenozoico (CZ)	Areias quartzosas, argilas, cascalhos, turfas	Quartzo (Qz), argilominerais, matéria orgânica (turfas)	Baixo; turfas atuam como condicionadores orgânicos
Magmatismo Alcalino Subsat. (MZ)	Nefelina sienitos, fonolitos, carbonatitos, malignitos, ijolitos	Nefelina, leucita, feldspato potássico (Fk), sodalita, apatita, zeólitas; em carbonatitos: calcita, dolomita, fluorita, barita	Alto: fontes alternativas de K e P
Magmatismo Serra Geral (Bacia do Paraná) (MZ)	Basaltos, diabásios, riolitos, dacitos, traquitos	Plagioclásio, piroxênios (augita), olivina, feldspato potássico, minerais opacos; secundários: zeólitas e Qz	Alto: remineralizadores (basaltos/diabásios); ácidas/intermediárias com menor reatividade
Sedimentação Gondwânica (Bacia do Paraná) (PZ/MZ)	Arenitos, siltitos, folhelhos, diamictitos, calcários	Qz, Fk, plagioclásio, calcita, dolomita, pirita, argilominerais e clastos líticos	Baixo a intermediário: calcários/dolomitos como corretivos; folhelhos com potencial remineralizador
Granitos Tardi a Pós-colisionais (Tipo A) no Terreno Luís Alves (NP)	Granitos tipo A (alcalinos, pós-colisionais)	Fk, plagioclásio, Qz, biotita, muscovita; acessórios: zircão, allanita	Intermediário: fontes de K (feldspatos); dependente de granulometria e intemperismo

Coberturas Vulcanossedimentares Foreland (NP)	Sequências vulcânicas e sedimentares de bacias de antepaís	Plagioclásio, piroxênios, Fk, quartzo; sedimentos associados: argilominerais	Intermediário e baixo; uso depende de estudos locais
Batólitos Florianópolis, Major Gercino e Paranaguá (NP)	Granitos, granodioritos, tonalitos	Fk, plagioclásio, Qz, biotita, muscovita; acessórios: anfibólio, titanita, zircão, magnetita	Intermediário: fontes de K; uso como remineralizador regional
Rochas metavulcânicas e sedimentares relacionadas ao Complexo Brusque (NP)	Metabásicas, metacarbonatos, xistos, filitos.	Qz, biotita, clorita, illita, muscovita, calcita, dolomita	Intermediário: metacarbonatos como corretivos; xistos
Granitoides relacionados ao Complexo Brusque (NP)	Granitos e granitoides associados a cinturões metamórficos	Fk, Qz, plagioclásio, biotita, muscovita/clorita	Intermediário: liberação de K; restrições pela heterogeneidade mineralógica
Complexos Granito-Gnáissico-Migmatíticos (PP/NP)	Gnaisses, migmatitos, granitos associados	Fk, plagioclásio, Qz, biotita, muscovita, piroxênios, anfibólios	Intermediário à baixo; uso condicionado a estudos locais
Complexo Granulítico de Santa Catarina (NA/PP)	Granulitos de alto grau metamórfico	Granada, piroxênios (ortopiroxênio, clinopiroxênio), feldspatos, Qz, minerais opacos	Baixo a intermediário; minerais resistentes, baixa reatividade agrícola

Avaliação do potencial agrícola por domínios geológicos

A geodiversidade de Santa Catarina revela ampla variedade de litologias com diferentes graus de potencialidade agrônômica, condicionada pela mineralogia e pelos processos de intemperismo. As coberturas sedimentares cenozoicas apresentam baixa potencialidade direta, pela predominância de quartzo e minerais resistentes, mas incluem turfas que funcionam como condicionadores orgânicos relevantes (Kämpf; Curi, 2009).

O magmatismo alcalino subsaturado, representado por fonolitos, nefelina sienitos e carbonatitos, destaca-se pela alta potencialidade, em razão da abundância de feldspatóides (nefelina, leucita, sodalita) e apatita, minerais de solubilidade superior aos feldspatos comuns, configurando fontes alternativas de K e P (Resende et al., 2012; Silva et al., 2018). No magmatismo básico da Formação Serra Geral, basaltos e diabásios exibem elevada reatividade, derivada da presença de plagioclásios

cálcicos, piroxênios e olivina, liberando K, Ca e Mg de forma contínua e justificando seu enquadramento como remineralizadores de alto potencial (Melo; Silva, 2008; Theodoro; Leonardos, 2000).

Granitos tipo A e batólitos regionais apresentam potencialidade intermediária, condicionada à granulometria fina e ao grau de alteração dos feldspatos potássicos, que determinam a liberação de K (Manning, 2010; Ávila, 2024). Nos complexos metamórficos, metacarbonatos (mármore calcíticos e dolomíticos) são corretivos eficientes de acidez (Cazotti et al., 2019; Raymundo et al., 2013), enquanto gnaisses, migmatitos e xistos atuam como remineralizadores secundários, liberando nutrientes de modo mais lento (Kämpf; Curi, 2009). O Complexo Granulítico de SC possui baixa a intermediária potencialidade, pois o predomínio de quartzo e feldspatos recristalizados limita sua reatividade, ainda que piroxênios e granada possam fornecer Ca, Mg e Fe (Melfi; Pedro, 1977; Santos et al., 2017).

No contexto gondwânico, a Formação Irati, equivocadamente denominado “xisto”, corresponde a folhelhos pirobetuminosos aptos à remineralização pela presença de quartzo, feldspatos e argilominerais (Tessaro, 1998), além do aproveitamento de rejeitos da PETROSIX para silicatos de K e Mg de liberação lenta. Maraschin e Ramos (2015) registraram até 23% de carbono orgânico nesses folhelhos no RS. O Membro Rio do Sul, composto por folhelho várvido, siltito bioturbado e folhelho preto fossilífero, apresenta potencialidade intermediária como remineralizador, em razão de argilominerais e quartzo fino (CPRM, 2014; Souza *et al.*, 2008). Já o Membro Triunfo (Grupo Itararé) possui potencialidade variável: arenitos quartzosos são pouco reativos, enquanto folhelhos e siltitos com feldspatos e argilominerais oferecem potencial intermediário, e os carbonatos intercalados funcionam como corretivos de acidez (Raymundo *et al.*, 2013).

Essas características reforçam que a diversidade geológica de SC sustenta múltiplas alternativas: rochas básicas e alcalinas como fontes de nutrientes de rápida liberação; granitos e gnaisses como suprimento de liberação lenta; e carbonatos como corretivos. Esse mosaico confere ao estado singular potencialidade para reduzir a dependência de fertilizantes importados e integrar práticas de agricultura sustentável.

Avaliação de risco em potencial de contaminação

A Instrução Normativa MAPA nº 5/2016 estabelece limites para elementos potencialmente tóxicos em remineralizadores, como As, Cd, Hg e Pb. Nesses contextos, os elementos potencialmente tóxicos tendem a ocorrer apenas em minerais acessórios e em concentrações traço. Assim, do ponto de vista geológico regional, esses domínios apresentam baixo potencial natural de contaminação, embora análises geoquímicas específicas sejam necessárias para validação agrônômica.

Mineralogia e implicações agrônômicas

A fertilidade potencial das rochas catarinenses depende da mineralogia predominante, que controla tanto a disponibilidade de nutrientes como a taxa de intemperismo. Minerais silicáticos como plagioclásios, feldspato potássico, piroxênios, olivina e anfibólios constituem as principais fontes de K, Ca, Mg e Si. Micas (biotita e muscovita) fornecem K adicional, enquanto acessórios como hematita, ilmenita e pirita introduzem Fe e S. Feldspatóides, como nefelina, leucita e sodalita, característicos de litologias alcalinas, apresentam maior solubilidade que os feldspatos, reforçando o potencial dessas rochas (Harley; Gilkes, 2000; Deer; Howie; Zussman, 2013).

As taxas de dissolução variam conforme a composição: minerais félsicos (feldspatos K/Na, muscovita e biotita) têm dissolução lenta, enquanto plagioclásios cálcicos, piroxênios, anfibólios e olivina são mais reativos, liberando nutrientes gradualmente (Anda; Shamshuddin; Fauziah, 2013; Ciceri; Allanore; Hartmann, 2017).

Essa mineralogia explica o potencial agrônômico identificado em SC: basaltos e diabásios, ricos em minerais máficos, apresentam alta reatividade; fonolitos e nefelina sienitos se destacam como fontes de K e P; granitos, gnaisses e migmatitos atuam como fontes de liberação lenta; e carbonatos desempenham papel crucial como corretivos (Resende et al., 2012; Silva et al., 2018; Manning, 2010; Camargo; Korndörfer, 1995).

A Tabela 1 apresenta os minerais-chave, suas fórmulas químicas e respectivas contribuições agrônômicas, servindo de base para a interpretação mineralógica.

Tabela 3 – Fórmula química dos minerais chave

Mineral	Fórmula química
Anfibólios	$(Ca,Na)_2 - 3(Mg,Fe,Al)_5Si_8O_{22}(OH)_2$
Calcita	$CaCO_3$
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2$
Biotita	$K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
Clorita	$(Mg,Al,Fe)_6[(Si,Al)_4^{o10}](OH)_2$
Enstatita	$MgSiO_3$
Feldspato potássico	$KAlSi_3O_8$
Zeólitas	$(Na,K,Ca,Ba)Al_2Si_2O_8 \cdot nH_2O$
Leucita	$KAlSi_2O_6$
Muscovita	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Nefelina	$(Na,K)AlSiO_4$
Olivina	$(Mg,Fe)_2SiO_4$
Piroxênios	$(Ca,Mg,Fe)Si_2O_6$
Plagioclásio (série albita-anortita)	$NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8$
Sodalita	$Na_8[Al_6Si_6O_{24}]Cl_2$
Quartzo	SiO_2

Relevância regional e perspectivas

A potencialidade agromineral de Santa Catarina deve ser entendida não apenas sob a ótica da fertilidade dos solos, mas também em seu contexto socioeconômico e ambiental. O estado é marcado por uma agricultura familiar intensiva, fortemente dependente de insumos importados, potássicos, nitrogenados e fosfatados. A disponibilidade de basaltos, fonolitos, granitos, gnaisses, xistos e metacarbonatos cria oportunidades estratégicas para suprir parte dessa demanda de forma regionalizada, reduzindo custos logísticos e fortalecendo cadeias produtivas locais (Manning; Theodoro, 2020).

Do ponto de vista ambiental, a aplicação de silicatos regionais contribui para o sequestro de CO_2 por meio do intemperismo aprimorado (EW) (Hartmann *et al.*, 2013; Beerling *et al.*, 2018), alinhando SC a metas de mitigação climática. Tecnologias emergentes, como o termopotássio produzido a partir de fonolitos e granitos, já demonstraram viabilidade como fertilizante de liberação lenta (Yuan *et al.*, 2015; Ávila, 2024), evidenciando o potencial de inovação associado à geodiversidade local.

Assim, a integração entre geologia, agronomia e políticas públicas coloca Santa Catarina em posição de destaque no cenário nacional: um estado capaz de transformar sua geodiversidade em insumo estratégico, contribuindo simultaneamente para a segurança alimentar, a redução da dependência de importações e a sustentabilidade ambiental.

Comparação com outras regiões brasileiras

Estudos realizados no nordeste brasileiro evidenciam elevado potencial para o uso de agrominerais, destacando-se flogopititos, basaltos, carbonatitos, biotita xistos, vermiculita, gipsita e zeólitas como fontes de nutrientes e condicionadores de solo (Bezerra, 2010). A região apresenta depósitos ultramáficos amplamente estudados e tradição no aproveitamento de insumos minerais alternativos, como o MB-4, mistura de serpentinito e biotita xisto utilizada em Alagoas há mais de duas décadas (Fernandes; Luz; Castilhos, 2010).

O Mapa Agromineral do Brasil (Fernandes; Luz; Castilhos, 2010) e iniciativas estaduais, como o Mapa Agromineral de Goiás (CPRM, 2014), confirmam que diferentes unidades da federação possuem potenciais específicos. O Nordeste concentra depósitos de vermiculita, flogopita e rochas ultramáficas; Goiás reúne flogopititos, fonolitos e fosforitos; enquanto Santa Catarina se diferencia pela diversidade de litologias ígneas e metamórficas, incluindo basaltos, fonolitos, granitos, gnaisses e metacarbonatos.

Essa diversidade amplia as possibilidades de aplicação: no Nordeste e em Goiás, predominam insumos já explorados em sistemas agrícolas familiares e industriais; em Santa Catarina, o mosaico litológico permite associar fontes altamente reativas, corretivos calcínicos e materiais de liberação lenta, oferecendo alternativas ajustadas a diferentes condições edafoclimáticas.

Portanto, os contextos regionais são complementares: o Nordeste e Goiás se destacam pela abundância de minerais potássicos e condicionadores com tradição de uso, enquanto Santa Catarina revela potencial estratégico pela geodiversidade ígnea

e metamórfica, capaz de reduzir a dependência de fertilizantes importados e alinhar-se às políticas de agricultura sustentável (Van Straaten, 2007).

Cadeias produtivas e oportunidades regionais

A aplicação prática da geodiversidade catarinense demanda integração com cadeias produtivas locais, como a exploração do Grupo Serra Geral, as alcalinas de Anitápolis e Lages foram objeto de ensaios de remineralização (Silva et al., 2018; Viana et al., 2021).

Esses materiais, quando aproveitados em escala regional, podem dinamizar a economia agrícola, reduzir custos logísticos e gerar valor ambiental pela contribuição ao sequestro de CO₂ (Hartmann et al., 2013). Tais oportunidades reforçam a necessidade de políticas públicas que incentivem pesquisa aplicada e rotas de beneficiamento compatíveis com as demandas dos agricultores catarinenses.

Considerações Finais

Santa Catarina reúne litologias estratégicas para a agricultura, incluindo basaltos e fonolitos com elevado potencial agrônomo, decorrente da presença de minerais portadores de nutrientes, além de granitos, gnaisses, xistos e metacarbonatos de liberação mais lenta. Esses materiais apresentam potencialidade como remineralizadores e corretivos, capazes de fornecer K, Ca, Mg, P e micronutrientes essenciais. O destaque recai sobre os basaltos do Grupo Serra Geral e os complexos alcalinos de Anitápolis e Lages, fontes estratégicas para reduzir a dependência de fertilizantes potássicos importados.

Além de fortalecer a agricultura familiar e reduzir custos logísticos, o aproveitamento regional desses recursos está alinhado a políticas nacionais, como a Instrução Normativa nº 5/2016, a IN nº 53/2013 e o Plano Nacional de Fertilizantes 2022–2050, além de fortalecer a agricultura familiar e reduzir custos logísticos, o aproveitamento regional desses recursos está alinhado a políticas nacionais, como a Instrução Normativa MAPA nº 5/2016, a Instrução Normativa nº 53/2013, alterada pela

IN nº 6/2016, e o Plano Nacional de Fertilizantes 2022–2050. A aplicação de silicatos regionais também se conecta ao potencial de sequestro de CO₂ via intemperismo acelerado, reforçando a relevância ambiental da prática.

Os resultados obtidos permitem identificar um potencial agromineral preliminar associado aos principais domínios geológicos do estado. Entretanto, essas interpretações possuem caráter exploratório e não substituem a caracterização geoquímica detalhada das litologias. Estudos futuros devem incluir análises químicas e ensaios agronômicos para validar a aplicação desses materiais na agricultura regional.

REFERÊNCIAS

ABBOTT, L. K.; MANNING, D. A. C. Soil health and long-term sustainability of agriculture: with a focus on rock powders. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 35, n. 2, p. 369-388, 2015.

ANDA, M.; SHAMSHUDDIN, J.; FAUZIAH, C. I. Improving chemical properties of a highly weathered soil using finely ground basalt rocks. *Catena*, v. 111, p. 275-284, 2013.

ÁVILA, E. L.; CORRÊA, G. Potencial agromineral de granitos em Santa Catarina: caracterização mineralógica, geoquímica e agronômica. *Revista Geociências do Nordeste*, v. 10, n. 2, p. 115-132, 2023.

ÁVILA, E. L. Granito Valsungana: sustentabilidade na agricultura regenerativa e sequestro de CO₂. 2024. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2024.

BEERLING, D. J.; LEAKE, J. R.; LONG, S. P.; SCHULTE, P.; TONN, S. J. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants*, v. 4, p. 138-147, 2018.

BERGMANN, C.; LUZ, A. B.; MELFI, A. J. Rochagem: uso de pós de rocha na agricultura. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2009.

BEZERRA, Marcelo Soares. O potencial dos agrominerais alternativos na região Nordeste do Brasil (Série Rochas e Minerais Industriais, 15). Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 48 p., 2010.

BIAN, R., JOSEPH, S., CUI, L., PAN, G., LI, L., LIU, X., ZHANG, A., RUTLIDGE, H., WONG, S., CHIA, C., MARJO, C., GONG, B., MUNROE, P., DONNE, S. A three-year experiment confirms continuous immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field with biochar amendment. *Journal of Hazardous Materials*, v. 231-232, p. 345-352, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013 (com alterações da IN nº 3, de 15 jan. 2020). Estabelece requisitos

para registro de fertilizantes, corretivos, condicionadores, substratos para plantas e remineralizadores. Brasília, 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Dispõe sobre os critérios para registro de remineralizadores de solo e substratos para plantas. Brasília, 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 3, de 15 de janeiro de 2020. Altera a Instrução Normativa nº 53/2013. Diário Oficial da União, Brasília, 16 jan. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Fertilizantes 2050. Brasília: MAPA, 2022.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 10.991, de 11 de março de 2022. Institui o Plano Nacional de Fertilizantes 2022–2050 e cria o Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas. Brasília, 2022.

CAMARGO, M. S.; KORNDÖRFER, G. H. Agronomic evaluation of phosphate rock and partially acidulated phosphate rock in Brazil. *Fertilizer Research*, v. 40, p. 123–129, 1995.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014.

CAKMAK, I. Strategies for increasing the zinc and iron concentrations in staple food crops. *Plant and Soil*, v. 247, p. 83-90, 2002.

CAZOTTI, M. M.; COSTA, L. M.; CECOM, P. R. Biogenic, sedimentary, and metamorphic limestone: a comparative characterization of soil amendment. *Revista Ceres*, v. 66, n. 1, p. 63–71, 2019.

CICERI, D.; ALLANORE, A.; HARTMANN, J. Designing the dissolution of potassium feldspar in view of its use as a slow-release fertilizer. *Applied Geochemistry*, v. 78, p. 52-66, 2017.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. An introduction to the rock-forming minerals. Mineralogical Society of Great Britain and Ireland, 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Caravana Embrapa FertBrasil: sobre. Brasília, 2025.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise de solo / Paulo César Teixeira et al. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EPAGRI. “Santa Catarina tem safra recorde de grãos em 2025 com alta de 20,7%”. Florianópolis: EPAGRI, 2025. Disponível em: <https://cepa.epagri.sc.gov.br/index.php/santa-catarina-tem-safra-recorde-de-graos-em-2025-com-alta-de-207/>. Acesso em: 21.9.2025.

FAGERIA, N.K., BALIGAR, V.C. Chapter 7 Ameliorating Soil Acidity of Tropical Oxisols by Liming for Sustainable Crop Production. Elsevier, pp. 345–399, 2008.

FERNANDES, F. R. C.; LUZ, A. B.; CASTILHOS, Z. C. (org.). Agrominerais para o Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 300p., 2010.

- HANISCH, A. L. et al. Remineralizadores de solo: potencial do basalto no Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, p. 1-13, 2013.
- HARI, V.; MOLINA, J. R.; SENEVIERATNE, S. I. Increased future occurrences of record-shattering climate extremes. *Nature Climate Change*, v. 10, p. 401-406, 2020.
- HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 56, p. 11-36, 2000.
- HARTMANN, J.; WEST, A. J.; RENFORTH, P.; KÖHLER, P.; DE LA ROCHA, C. L.; WOLFGADROW, D. A.; DÜRR, H. H.; SCHEFFRAN, J. Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification. *Reviews of Geophysics*, v. 51, p. 113-149, 2013.
- HENSEL, J. *Bread from Stones: a new and rational system of land fertilization and physical regeneration*. Nova York: A. J. White & Co., 1894.
- HOSSAIN, M. S. Global soil degradation and sustainable land management: a review. *Soil Systems*, v. 4, n. 4, p. 70, 2020.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Conceitos de solos como meio para plantas. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Org.). *Química e mineralogia do solo*. Viçosa: SBCS, 2009.
- KOPITTKE, P. M., MENZIES, N. W., WANG, P., MCKENNA, B. A., LOMBI, E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, v. 132, 105078, 2019.
- LEONARDOS, O.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. Remineralização de solos com rochas silicáticas: uma alternativa para aumentar a produção sustentável de alimentos. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 72, n. 4, p. 497-507, 2000.
- LIEBIG, J. F. *Chemistry in its application to agriculture and physiology*. Cambridge, University of California Libraries, p. 60, 1840.
- MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 30, p. 281-294, 2010.
- MANNING, D. A. C. Inorganic fertilizers for agriculture in developing countries. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 419, p. 117-134, 2017.
- MANNING, D. A. C.; THEODORO, S. H. Enabling the deployment of rock fertilizers: economic and social factors. *Geoscience Frontiers*, v. 11, n. 6, p. 2273-2280, 2020.
- MARASCHIN, Anderson José; RAMOS, Alessandro Silva. Breve abordagem histórica sobre o potencial energético dos folhelhos da Formação Irati (Bacia do Paraná) no Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, n. 25, p. 174-183, ago. 2015.
- MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H.; LUZ, A. B. Pó de rocha como fertilizante alternativo para uma agricultura sustentável. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 77-90, 2010.

- MELO, V. F.; SILVA, C. A. Potencial de rochas silicáticas como fontes de potássio para plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 1, p. 1–10, 2008.
- MOHAMMED, S. M. O., BRANDT, K., GRAY, N. D., WHITE, M. L., MANNING, D. A. C. Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil. *Eur. J. Soil Sci.* 65 (5), 653–662, 2014.
- NESBITT, H. W.; YOUNG, G. M. Formation and diagenesis of weathering profiles. *The Journal of Geology*, v. 97, n. 2, p. 129-147, 1989.
- ONU. World Population Prospects 2022: summary of results. New York: United Nations, 2022.
- PRINCE, G. D.; VELBEL, M. A. The use of geochemical mass balance to estimate weathering rates. *Geoderma*, v. 113, p. 21-44, 2003.
- PRIYONO, J., GILKES, R.J. High-energy milling improves the effectiveness of silicate rock fertilizers: a glasshouse assessment. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 39 (3–4), 358–369, 2008.
- RAYMUNDO, V.; NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N.; BREGONCI, I. dos S.; LIMA, J. S. S.; FONSECA, A. B. Resíduos de serragem de mármore como corretivo da acidez de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 47–53, 2013.
- RAY, D. K., WEST, P. C., CLARK, M., GERBER, J. S., PRISHCHEPOV, A. V., CHATTERJEE, S. Climate change has likely already affected global food production. *PLoS ONE*, v. 14, n. 5, e0217148, 2019.
- REMPFERT, P. et al. Rock powders for sustainable agriculture: insights from field trials in tropical soils. *Geoderma*, v. 380, p. 114634, 2020.
- RESENDE, A. V. et al. Rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para sistemas agrícolas. *Informe Agropecuário (EPAMIG)*, v. 33, n. 271, p. 76–89, 2012.
- SCHERR, S. J. Soil degradation: a threat to developing-country food security by 2020? (Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper, 27). Washington, DC: IFPRI, 1999.
- SILVA, A. C. et al. Agronomic effectiveness of a K-bearing rock powder compared with KCl. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, e0170094, 2018.
- SORATTO, R. P. et al. Phonolite as an alternative potassium source for crops in Brazil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, v. 184, n. 2, p. 1-12, 2021.
- TESSARO, L. C. Preparação de Fertilizantes Potássico de Liberação Lenta a Partir de Rejeitos de Xisto. 1998. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Paraná, 1998.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ASSAD, M. L. Remineralization for sustainable agriculture: a tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 56, p. 3–9, 2000.
- VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, n. 4, p. 731-747, 2006.
- VAN STRAATEN, P. *Agrogeology: the use of rocks for crops*. Cambridge: Enviroquest, 2007.

VIANA, L. S. de B; CAITANO, T. dos S.; PONTES, A.N. A remineralização de solos como iniciativa ao desenvolvimento sustentável. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 5, e215162021, 2021.

WEINSCHÜTZ, L. C.; CASTRO, J. C. A sequência Mafra superior/Rio do Sul inferior (Grupo Itararé, Permocarbonífero) em sondagens testemunhadas da região de Mafra (SC), margem leste da Bacia do Paraná. *Geociências (São Paulo)*, v. 24, n. 2, p. 131-141, 2005.

YUAN, B.; LI, C.; LIANG, B.; LÜ, L.; YUE, H.; SHENG, H.; YE, L.; XIE, H. Extraction of potassium from K-feldspar via the CaCl_2 calcination route. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, p. 1557–1564, 2015.

NOTAS DE AUTOR

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Edson Luiz Ávila - Concepção e elaboração do manuscrito. Coleta de dados, Análise de dados e aprovação da versão final do trabalho

Eliane dos Santos – Participação ativa da discussão dos resultados; Revisão e aprovação da versão final do trabalho.

Maurício Oliveira Righi da Silva – Concepção e elaboração do manuscrito. Coleta de dados, participação ativa da discussão dos resultados; revisão e aprovação da versão final do trabalho.

FINANCIAMENTO

Não se aplica.

CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

CONFLITO DE INTERESSES

Não há conflitos de interesse.

LICENÇA DE USO

Este artigo está licenciado sob a [Licença Creative Commons CC-BY](#). Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.

HISTÓRICO

Recebido em: 06-10-2025

Aprovado em: 08-04-2026