

122

SÉRIE Tecnologia Ambiental

Remineralizadores de solos: Importância e perspectivas futuras

Patricia Correia Araujo
Carla de Matos Ribeiro
Guilherme de Resende Camara
Maria Alice Cabral Goes
Luis Gonzaga Santos Sobral



SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Remineralizadores de solos: Importância e perspectivas futuras

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Luciana Santos

Ministra de Estado

Luis Manuel Rebelo Fernandes

Secretário Executivo

Isa Assef dos Santos

Subsecretária de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Silvia Cristina Alves França

Diretora

Maurício Moutinho da Silva

Coordenador de Administração - COADM

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

Paulo Fernando Almeida Braga

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

Marisa Nascimento

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

Leonardo Luiz Lyrio da Silveira

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

STA - 122

Remineralizadores de solos: Importância e perspectivas futuras

Patricia Correia Araujo

MSc. em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ. Técnica Química CETEM/MCTI.

Carla de Matos Ribeiro

Química, MSc. em Biotecnologia pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia-INMETRO. Bolsista PCI do CETEM/MCTI.

Guilherme de Resende Camara

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

Maria Alice Cabral Goes

Eng^a. Metalúrgica, MSc em Engenharia Metalúrgica e Materiais pela COPPE/UFRRJ. Analista em Ciência e Tecnologia do CETEM/MCTI. Coordenadora do Programa Material de Referência Certificado do CETEM.

Luis Gonzaga Santos Sobral

Eng^o. Químico, PhD em Hidrometalurgia/Imperial College-Londres/UK. Pesquisador Titular do CETEM/MCTI.

CETEM/MCTI

2023

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Editor: Luis Gonzaga Santos Sobral

Subeditor: Andréa Carmadella de Lima Rizzo

CONSELHO EDITORIAL: Saulo Rodrigues P. Filho (UNB), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánchez (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG), Luís Alberto Dantas Barbosa (UFBA), Ricardo Melamed (UNB), Marcello F. Veiga (University of British Columbia-Canadá), Bruce Marshall (University of British Columbia-Canadá).

Não existe uma definição única que se enquadre na ampla diversidade que o tema “Tecnologias Ambientais” abrange. Em primeiro lugar, o campo das Tecnologias Ambientais é caracterizado por um alto grau de diversidade e heterogeneidade. Em geral, o termo é usado para incluir tecnologias e aplicações que supostamente ajudam a reduzir o impacto negativo da atividade industrial e dos serviços, de usuários privados ou públicos, no meio ambiente. O conceito se refere, normalmente, a tecnologias “no final do processo” (end-of-pipe) integradas a tecnologias limpas e de recuperação de áreas contaminadas. No entanto, também pode abranger questões de sentido mais amplo, como monitoramento, medição, mudança de produtos ou gerenciamento de sistemas ambientais. As tecnologias ambientais são, portanto, de natureza interdisciplinar e podem ser aplicadas em qualquer etapa da cadeia produção-consumo. Tendo isso em mente, a *Série de Tecnologia Ambiental* tem por objetivo congrega especialistas, tais como: pesquisadores, tecnologistas, professores etc., do CETEM em particular, para que divulguem suas pesquisas em áreas tão diversas para servirem como estímulo para os novos e futuros pesquisadores.

There is no single definition that fits the wide diversity that the theme “Environmental Technologies” covers. First, the field of Environmental Technologies is characterized by a high degree of diversity and heterogeneity. In general, the term is used to include technologies and applications that are supposed to help reduce the negative impact of industrial activities and services, by private or public users, on the environment. The concept usually refers to technologies “at the end of the process” (end-of-pipe) integrated with clean technologies and recovery of contaminated areas. However, it can also cover broader issues such as monitoring, measuring, changing products or managing environmental systems. Environmental technologies are, therefore, of an interdisciplinary nature and can be applied at any stage of the production-consumption chain. Bearing this in mind, the “Environmental Technology Series” aims at bringing together specialists, such as: researchers, technologists, professors etc., from CETEM in particular, to disseminate their research in such diverse areas to serve as a stimulus for new and future researchers.

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

Copyright © 2023 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação de copyright (Lei 5.988)

Valéria Cristina de Souza
Diagramação e Editoração Eletrônica

André Luiz Costa Alves
Projeto Gráfico

Informações:
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Av. Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Homepage: www.cetem.gov.br

CIP – Catalogação na Publicação

R388

Remineralizadores de solos: importância e perspectivas futuras / Patricia
Correia Araujo ... [et al.] – Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2023.
40 p. - (Série Tecnologia Ambiental; 122).

ISBN 978-65-5919-036-2.

1. Agrominerais. 2. Fertilização. 3. Pó de rocha.
4. Materiais de referência. I. Araujo, Patricia Correia. II. Ribeiro, Carla de
Matos. III. Camara, Guilherme de Resende. IV. Goes, Maria Alice Cabral.
V. Sobral, Luis Gonzaga Santos. VI. Centro de Tecnologia Mineral. VII. Série.

CDD 668.6

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

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
2 O MERCADO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS	11
3 REMINERALIZADORES	16
4 A IMPORTÂNCIA DOS MATERIAIS DE REFERÊNCIA	25
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO

A dependência do agronegócio nacional por fertilizantes importados, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, elementos essenciais e altamente exigidos pelas plantas configura-se uma realidade para a manutenção e aumento da produção e da produtividade das lavouras. O país importa cerca de 80% do total de fertilizantes utilizados, sendo o cloreto de potássio o mais consumido. Necessita, então, de alternativas para a fertilização dos solos, que sejam menos agressivas ao meio ambiente e mais acessíveis e econômicas para os produtores rurais. Uma das opções para recompor a nutrição de solos é a utilização de pós de rocha (ou rochas moídas) como remineralizadores de solos. A utilização deste insumo requer o cumprimento de parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa 5/2016 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, e o controle de qualidade destes materiais poderão ser atestados frente a padrões de referência. O Centro de Tecnologia Mineral é produtor nacional de materiais de referência certificados de minérios e minerais, acreditado em conformidade com a ISO 17034, e é partícipe desse estudo. Com o presente trabalho discute-se a importância do estudo de alternativas à nutrição do solo frente ao atual sistema de produção agrícola, atualiza os dados de produção e de aplicação de remineralizadores de solos no Brasil e promove uma abordagem referente aos materiais de referência para a produção de remineralizadores de solos agrícolas.

Palavras-chave

Agrominerais; fertilização; pó de rocha; materiais de referência.

ABSTRACT

The dependence of national agribusiness on imported fertilizers, especially nitrogen, phosphorus and potassium, essential elements highly demanded by plants, is a reality for maintaining and increasing production and productivity of crops. The country imports around 80% of the total used fertilizers, with potassium chloride being the most consumed. Therefore, it needs alternatives for soil fertilization, which are less harmful to the environment and more accessible and economical for rural producers. One of the options for restoring soil nutrition is the use of rock powders (or ground rocks) as soil remineralizers. The use of this input requires compliance with the parameters established by Normative Instruction 5/2016 of the Brazilian Ministry of Agriculture, Livestock and Supply, and the quality control of these materials can be attested against reference standards. The Centre for Mineral Technology is a national producer of certified reference materials for ores and minerals, accredited in accordance with ISO 17034, and is a participant in this study. The present work discusses the importance of studying alternatives to soil nutrition in view of the current agricultural production system, updates data on production and application of soil remineralizers in Brazil and promotes an approach referring to reference materials for the production of agricultural soil remineralizers.

Keywords

Agrominerals; fertilization; rock dust; reference materials.

1 | INTRODUÇÃO

Para efeitos jurídicos, fertilizante é definido como “substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes vegetais”, conforme disposto no Art. 3º, alínea a, da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes e demais substratos destinados à agricultura (BRASIL, 1980).

A fertilização dos solos para o fornecimento adequado de nutrientes às plantas é alicerce da produção agrícola. Os nutrientes são vitais para que as plantas alcancem a maturidade e possam completar seu ciclo produtivo. Cada elemento mineral tem uma função específica no metabolismo das plantas, garantindo a sua qualidade estrutural e fisiológica e, por isso, devem ser fornecidos no momento e nas quantidades necessárias para o pleno desenvolvimento (ALMEIDA et al., 2021).

Os nutrientes essenciais são divididos entre macronutrientes primários: Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) (denominados pela sigla NPK) e macronutrientes secundários: Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), que são necessários em quantidades significativas pelas plantas; e os micronutrientes, cujos principais são: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Zinco (Zn), Cobalto (Co) e Silício (Si), que apesar de serem requeridos em quantidades menores, são igualmente relevantes para o desenvolvimento das plantas. Outros elementos, como cobalto, selênio, silício e sódio, são classificados como nutrientes benéficos (SAE-PR, 2020).

As rochas fosfáticas, potássicas e calco-magnesianas, além de enxofre e gás natural são as matérias primas que fornecem os macronutrientes primários e secundários para a cadeia produtiva

de fertilizantes. Os componentes intermediários são o ácido sulfúrico, o ácido fosfórico e a amônia anidra (MME/SGM, 2021).

Os fertilizantes básicos podem ser relacionados da seguinte forma: fosfato de monoamônio ou MAP (48% de P_2O_5); fosfato de diamônio ou DAP (45% de P_2O_5); superfosfato simples ou SSP (fósforo, cálcio e enxofre); superfosfato triplo ou TSP (fósforo e cálcio), termofosfato (obtido pelo aquecimento da rocha fosfática); fosfato natural parcialmente acidulado (rocha fosfática com ácido sulfúrico); ureia; nitrato de amônio; nitrocálcio (mistura de nitrato de amônio com pó calcário); sulfato de amônio e cloreto de potássio. A partir dos fertilizantes básicos são feitas misturas e/ou produtos granulados de formulação N: P: K (N: P_2O_5 ; K_2O) (MME/SGM, 2021).

Os fertilizantes Nitrogenados, Fosfatados e Potássicos são demandados em grandes quantidades, sendo a base da agricultura tradicional. Entretanto, o potencial nacional de produção agrícola apresenta-se igualmente dependente da aquisição de insumos importados. Aproximadamente 80% de todos os fertilizantes consumidos no país vem de outros países, o que demonstra a fragilidade do nosso sistema de produção. Essa dependência se agrava quando se considera que o Brasil deverá responder por quase metade de toda a produção mundial de alimentos nos próximos anos (MAPA, 2022).

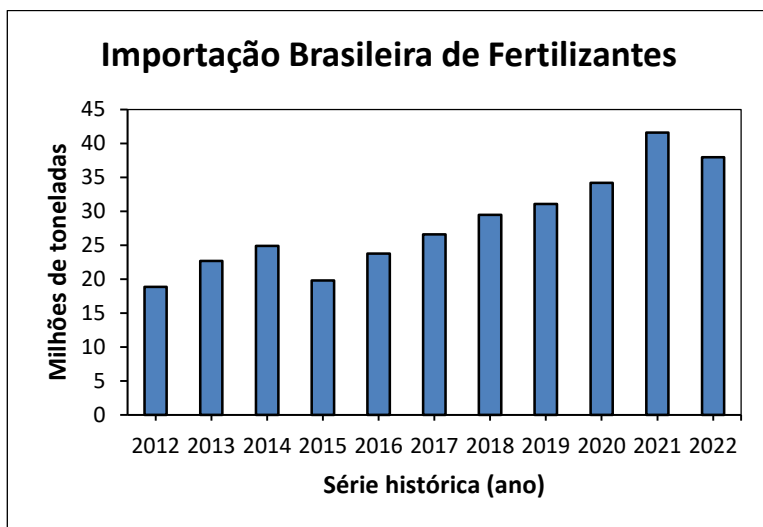
No presente trabalho será abordada a importância do mercado brasileiro de fertilizantes agrícolas, assim como de fontes alternativas de fertilização dos solos, que auxiliam na redução da dependência nacional por insumos importados. Além disso, serão discutidos fatores importantes a serem observados para o controle de qualidade das análises químicas de remineralizadores de solos, como a utilização de materiais de referência certificados.

2 | O MERCADO BRASILEIRO DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS

No ano de 1980, o Brasil se tornou o segundo maior importador do mundo de potássio e, somente em 1985, iniciou a produção interna com a exploração de cloreto de potássio do complexo da Mina/Usina Taquari-Vassouras (Sergipe). Todavia, essa mina não possui capacidade para suprir o mercado nacional, mesmo produzindo acima de sua capacidade nominal (500 mil toneladas/ano – projeto base) (MOTTA, 2020; DNPM, 2009).

Atualmente, o Brasil ocupa a quarta posição no consumo global, atrás somente da China, Índia e Estados Unidos, com um significativo aumento nas importações nos últimos anos. No ano de 2020 foram importados aproximadamente 33 milhões de toneladas de fertilizantes, volume 11% superior ao registrado no ano anterior, e 445% superior ao ano de 1998, evidenciando o potencial econômico desse mercado (ANDA, 2023). No ano de 2022, o país importou 9,1% de fertilizantes químicos e adubos conforme aponta o programa Comex Stat do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços¹ (MIDIC). No ano anterior, o Brasil foi o quarto maior produtor (8,2% do total) e o maior exportador de grãos (22,4%), batendo o recorde em produção mundial de soja, com 131 milhões de toneladas, o que representa mais de um terço da produção global (ARAGÃO E CONTINI, 2022). Em função disso, naquele ano, as importações de fertilizantes superaram às dos anos antecedentes, ficando acima dos 40 milhões de toneladas, como demonstra a série histórica representada na Figura 1.

¹ Portal para acesso gratuito às estatísticas de comércio exterior do Brasil. <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>.



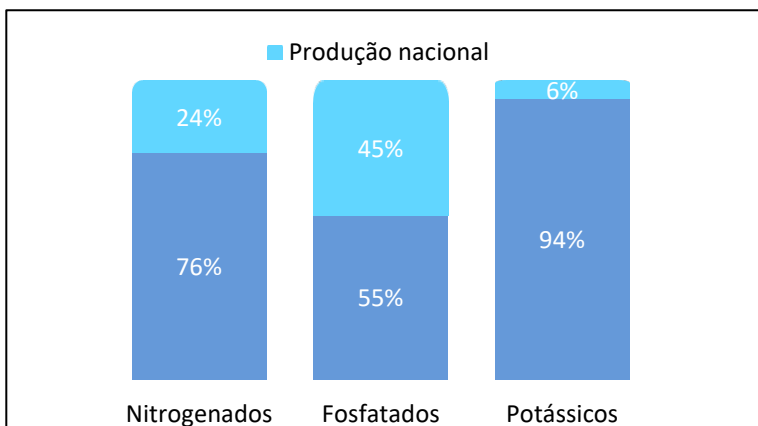
Fonte: os autores, baseado em Comex Stat/MIDIC.

Figura 1. Importação de fertilizantes pelo Brasil de 2012 a 2022.

Embora esses dados demonstrem a importância do Brasil no cenário mundial como produtor de alimentos, o país não possui autonomia na produção de NPK. Somente 6% dos fertilizantes potássicos são produzidos internamente, seguidos dos nitrogenados, e o restante, cerca de 90%, é importado de vários países, como: Canadá, Rússia, Bielorrússia, China, Marrocos e Estados Unidos (CNA, 2022).

A Figura 2 indica a distribuição do abastecimento do mercado interno de fertilizantes (*i.e.*, produção e importação) por nutriente e, também, demonstra que os fertilizantes nitrogenados e os fosfatados, em menor escala, também são importados de outros países.

A Figura 2 indica a distribuição do abastecimento do mercado interno de fertilizantes (*i.e.*, produção e importação) por nutriente e, também, demonstra que os fertilizantes nitrogenados e os fosfatados, em menor escala, também são importados de outros países.



Fonte: CNA, 2022.

Figura 2. Distribuição do abastecimento do mercado interno de fertilizantes por nutriente.

A dependência da importação de fertilizantes coloca o Brasil em situação de vulnerabilidade. Diversos fatores, como o atual conflito geopolítico envolvendo a Rússia e a Ucrânia, suscetibilidades climáticas, ou mesmo a dificuldade de transporte e logística de produtos durante a pandemia do Coronavírus, alertam para a busca de alternativas urgentes que venham a suprir o abastecimento de NPK para a agricultura brasileira. Dados da Stonex (CNA, 2022), por exemplo, demonstram os preços de ureia, MAP – *monoammonium phosphate* e KCl - cloreto de potássio, que chegaram no Porto de Paranaguá, antes, durante e depois do

início do conflito Rússia x Ucrânia, e pode-se observar um aumento expressivo no valor dos fertilizantes, como mostra a Figura 3.

		Ureia	MAP	KCL
Antes do conflito	18/fev	R\$ 3.146,40	R\$ 5.008,60	R\$ 4.445,20
Início do conflito	25/fev	R\$ 3.267,60	R\$ 4.938,10	R\$ 4.410,00
22 dias após o início do conflito	18/mar	R\$ 5.269,90	R\$ 6.570,50	R\$ 5.661,50
Variação 18 fev - 18mar		+67,5%	+31,2%	+27,4%

Fonte: Stonex *apud* CNA (2022).

Figura 3. Variação acumulada dos preços internados – Porto de Paranaguá.

A única cultura que tem autonomia dos fertilizantes nitrogenados no Brasil é a soja, em função da utilização de microrganismos fixadores biológicos de nitrogênio. O cultivo de soja no país possui 80% de sua área plantada fazendo uso de biofertilizantes à base de *Bradyrhizobium*, que são bactérias fixadoras de nitrogênio. A economia gerada por essa pesquisa aplicada é da ordem de 10 bilhões de dólares em fertilizantes nitrogenados e 430 milhões de toneladas de CO₂eq deixam de ser liberados anualmente para atmosfera significando, também, um ganho ambiental (ATLAS DO AGRONEGÓCIO, 2022; OLMO et al., 2022).

Os remineralizadores de solo (ou pós de rocha) também fazem parte do rol de alternativas para o aumento da eficiência dos principais nutrientes dos solos, assim como os biofertilizantes.

Para tal, utiliza-se a prática denominada rochagem, que emprega resíduos de rochas (*i.e.*, subprodutos da mineração) ricos em nutrientes e que são capazes de melhorar variáveis físico-químicas do solo. A rochagem revitaliza solos com baixa fertilidade, ao mesmo tempo que preserva o equilíbrio ambiental, por dar uma destinação mais adequada aos passivos ambientais da mineração e, também, por contribuir para uma nova e sustentável prática agrícola, apresentando-se, então, como uma alternativa promissora para a nutrição vegetal (CAMARA et al., 2021). A importância de seu estudo tem destaque entre as ações do Plano Nacional de Fertilizantes (GTI-PNF), que está sendo elaborado pelo Grupo de Trabalho Interministerial instituído pelo Decreto Nº 10.605 de Janeiro de 2021 (BRASIL, 2021). O PNF tem por objetivo fortalecer políticas de incremento da competitividade da produção e da distribuição de fertilizantes no Brasil de forma sustentável. Dentre as catorze diretrizes apontadas pelo GTI, destaca-se o incentivo ao estudo de novos produtos e tecnologias para a produção de fertilizantes no Brasil, de forma a garantir a autonomia na produção dos insumos, diminuindo a alta dependência de importação, ainda que também proponha a formalização de acordos bilaterais com vários países para o fornecimento de fertilizantes carreadores de NPK.

3 | REMINERALIZADORES

A geodiversidade brasileira permite aproveitar diferentes rochas como fontes alternativas para alcançar padrões de fertilidade compatíveis com as necessidades regionais, promovendo mecanismos sustentáveis de desenvolvimento econômico e ambiental (CETEM, 2015). Desta forma, é recomendado o uso agrônômico de subprodutos provenientes de pedreiras e indústrias de beneficiamento de rochas, uma vez que isso possibilita a utilização de diferentes tipos de rochas em diferentes regiões como fontes suplementares de nutrientes para o sistema solo-planta (BERGMANN; HOFF; THEODORO, 2009; COLA; SIMÃO, 2012; CAMARA et al., 2021).

Os pós de rocha estão entre os principais recursos da indústria extrativa mineral que possuem aptidão de uso como matérias-primas para a indústria de fertilizantes ou para a utilização direta na agricultura, os quais são denominados de agrominerais (FERNANDES et al., 2010).

A utilização de rochas finamente moídas (*i.e.*, pó de rocha) em solos foi descrita pela primeira vez em 1894 pelo químico Hensel no livro intitulado “*Bread from Stones?*” (HENSEL, 1894). Outros pesquisadores, como: KELLER (1948), FYFE et al. (1983), CHESWORTH (1982), LEONARDOS et al. (1987, 2000), CHESWORTH et al. (1989), THEODORO E LEONARDOS (2006), VAN STRAATEN et al. (2006, 2007), NOVELINO et al. (2008), MARTINS et al. (2015), MYRVANG et al. (2016), SOUZA (2019), ZHAO et al. (2019), CAMARA et al. (2021) e SANTOS, CARVALHO E CAMARA (2021) deram continuidade aos estudos mostrando a importância da aplicação direta de agrominerais para remineralizar os solos, especialmente por pequenos produtores.

Ao contrário dos adubos químicos (industriais), as rochas são consideradas fertilizantes naturais de liberação lenta, e apresentam um efeito residual no solo (RESENDE et al., 2006; SÉKULA, 2011; ALOVISI et al., 2020), capaz de prover nutrientes, notadamente fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes, à depender da rocha, por até cinco anos após sua aplicação única (THEODORO; LEONARDOS, 2006; NOVELINO et al., 2008; MARTINS et al., 2015; MYRVANG et al., 2016; SOUZA, 2019; ZHAO et al., 2019), sendo considerada uma característica vantajosa, pois proporciona menor risco de perda por lixiviação e adsorção, em contraste com os fertilizantes industriais altamente solúveis (NUNES; KAUTZMANN; OLIVEIRA, 2014).

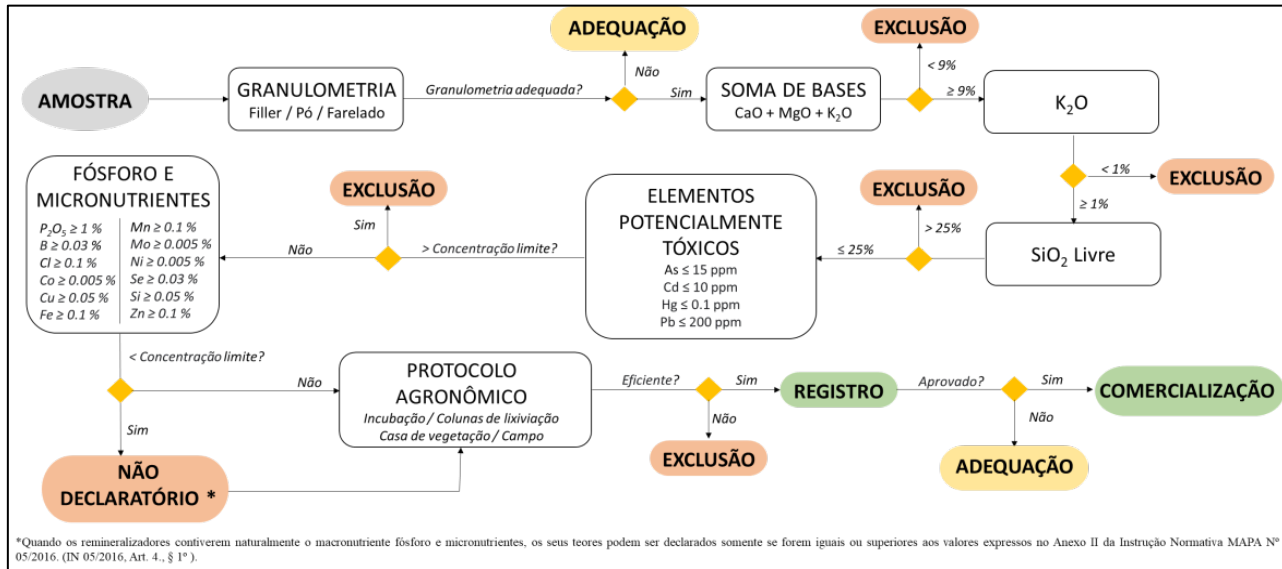
Quando estes agrominerais (pós de rochas) são utilizados de forma *in natura*, onde tenham sido submetidos apenas a redução de tamanho de partícula por processos mecânicos e que, quando aplicados ao solo, possuam a capacidade de alterar os índices de fertilidade e promover a melhoria de propriedades físicas, físico-químicas ou da atividade biológica do solo (BRASIL, 2013), recebem o nome de remineralizadores, desde que tais benefícios sejam comprovados a partir do disposto na Instrução Normativa N° 05, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – IN MAPA 05/2016 (BRASIL, 2016).

Considerando as exigências previstas na respectiva Instrução Normativa, nem todas as rochas terão sua eficiência de uso agrônômico comprovadas, especialmente no que se refere à presença de óxido de potássio (K_2O), porcentagem de quartzo ou sílica livre (SiO_2 livre) e aos elementos potencialmente tóxicos, tais como Arsênio, Cádmiu, Mercúrio e Chumbo, dentre outros fatores.

Entretanto, as rochas silicáticas fornecem as bases e minerais primários necessários para aumentar a produtividade/qualidade do solo. Dentre elas destacam-se as magnesianas (como: dunito, piroxenito e serpentinito); as cálcicas (como: calcissilicáticas, anortositos); as cálcio-magnesianas (como: basaltos, diabásios, gabros, anfíbolitos); as potássicas (como: rochas alcalinas, rochas ricas em biotita); e cálcio-magnésio-potássicas (como: kamafugitos, olivina melilito). A utilização desses minerais e rochas promove a produtividade do solo tanto quimicamente, com a disponibilização dos nutrientes, quanto fisicamente, melhorando as propriedades físicas do solo, como a capacidade de retenção de água, disponibilidade de água, aeração e suporte estrutural (VAN STRAATEN, 2022).

Outras vantagens do uso de rochas como remineralizadores de solos são referentes ao aumento do pH do solo (ALOVISI et al., 2020) e da capacidade de troca de cátions do solo (SILVA, 2013), redução da adsorção de fósforo devido a riqueza em silicatos (HARLEY; GILKES, 2000), disponibilização de macro e micronutrientes (ALOVISI et al., 2020), disponibilização de nutrientes não presentes em fertilizantes solúveis (ALOVISI et al., 2020), aplicações com menor impacto ambiental (VAN STRAATEN, 2006) e incremento na produtividade das lavouras (THEODORO; LEONARDOS, 2006; SILVA et al., 2019).

Conforme já mencionado, para que uma determinada rocha possa ser classificada como remineralizador de solos, deverão ser comprovados todos os seus potenciais de uso mediante exigências previstas na Instrução Normativa N° 05, de 10 de março de 2016, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – IN MAPA 05/2016 (BRASIL, 2016), as quais estão resumidamente descritas na Figura 4.



Fonte: SANTOS, NEVES e CAMARA (2022).

Figura 4. Fluxograma das especificações para remineralizadores da IN 05/2016.

Como se pode observar na Figura 4, a IN MAPA 05/2016 (BRASIL, 2016) estabelece diversas exigências que excluem ou não o potencial de uso do material mineral como remineralizador de solos.

Inicialmente, quanto à natureza física, o material a ser analisado deverá se enquadrar em uma das três classificações granulométricas: *filler*, *pó* ou *farelado*, sendo a primeira a mais fina e a última a mais grossa. É comum que pesquisas sejam realizadas com materiais na granulometria *pó*, visto que esta demanda menos energia de cominuição do que a *filler* e, por princípio, teria liberação de nutrientes mais rápida que materiais na granulometria *farelado*.

Quanto à soma de bases, que corresponde a soma dos óxidos de potássio, cálcio e magnésio ($K_2O + CaO + MgO$), a IN 05/2016 prevê que após a caracterização química sejam obtidos quantitativos iguais ou superiores a 9%. Destes óxidos, K_2O é o único que obrigatoriamente deverá estar presente na amostra, em quantitativo maior ou igual a 1%. Entretanto, considera-se ideal que estejam presentes na composição da rocha os demais óxidos; porém, sem exigências obrigatórias descritas na legislação, visto que quanto maior for a somas dessas bases, maior será o potencial de formação de minerais para beneficiamento dos solos.

A presença de sílica livre (quartzo - SiO_2) é limitada ao valor de 25%, pois o excesso de quartzo proporciona, ao longo do tempo, a arenização do solo, além de ser inócuo às plantas. Vale ressaltar que sílica livre (SiO_2 livre) não deve ser confundido com o conteúdo total de sílica que forma a rocha e todos os seus minerais, como feldspatos e micas, por exemplo. O valor de SiO_2 livre corresponde a sílica que compõe o magma original da rocha e que não foi utilizado na cristalização de outros silicatos (CPRM, 2022).

Outra exigência prevista na IN, e que poderá excluir o potencial remineralizador da rocha, corresponde à análise dos elementos potencialmente tóxicos (EPT), os quais podem provocar danos ambientais e à saúde humana quando em concentração maior que a de referência. Para cada EPT descrito na legislação (arsênio, cádmio, mercúrio e chumbo) há concentrações limites específicas (Figura 4).

A análise da presença de fósforo e micronutrientes, prevista na IN, não exclui a rocha caso esta não apresente tais elementos nos teores previstos. Se isso ocorrer, considera-se como elemento não declaratório, ou seja, não poderá haver a menção destes no rótulo final do produto, tendo em vista que a rocha em estudo não apresenta o potencial agrônômico de fornecer aquele elemento ao solo.

Na IN MAPA 05/2016, há ainda exigências com relação à realização de ensaios agrônômicos que comprovem que a rocha (potencial remineralizador) possui efetiva capacidade de alterar os índices de fertilidade do solo por adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou, ainda, da atividade biológica do solo (BRASIL, 1980; BRASIL, 2013).

Especificamente, com relação aos ensaios agrônômicos, estes podem ser classificados, segundo Camara et al. (2021), como *Protocolo Agrônômico I* e *Protocolo Agrônômico II*, sendo o primeiro de caráter facultativo, realizados em testes de incubação ou testes de lixiviação, e o segundo de caráter obrigatório, realizados em ambientes controlados (casas de vegetação) ou em campo, conforme descrito na IN MAPA 05/2016 (BRASIL, 2016).

Acrescenta-se que a IN 5/2016 não recomenda métodos de análises químicas para determinação dos macro e micro nutrientes, nem daqueles potencialmente tóxicos. Da mesma forma, não há, ainda, por parte do MAPA, indicação de laboratórios credenciados para a realização dessas análises, como é comentado no Canal de Atendimento ao Consumidor e Produtor do Serviço Geológico do Brasil (SGM/CPRM)².

Embora a instrução normativa IN 5/2016 seja relativamente nova, e que as discussões sobre o assunto estejam em curso, no ano de 2022 houve aumento expressivo do número de remineralizadores registrados no MAPA, no Sistema Integrado de Produtos e Estabelecimentos Agropecuários - SIGEAGRO³ (consulta feita em maio de 2023), como demonstra o Gráfico 1.

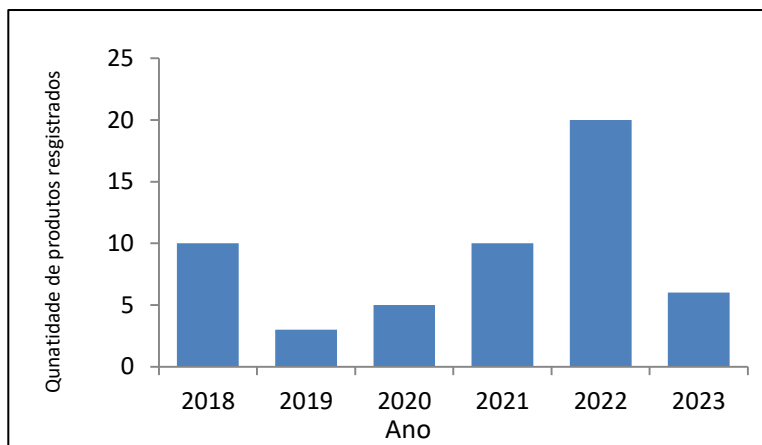


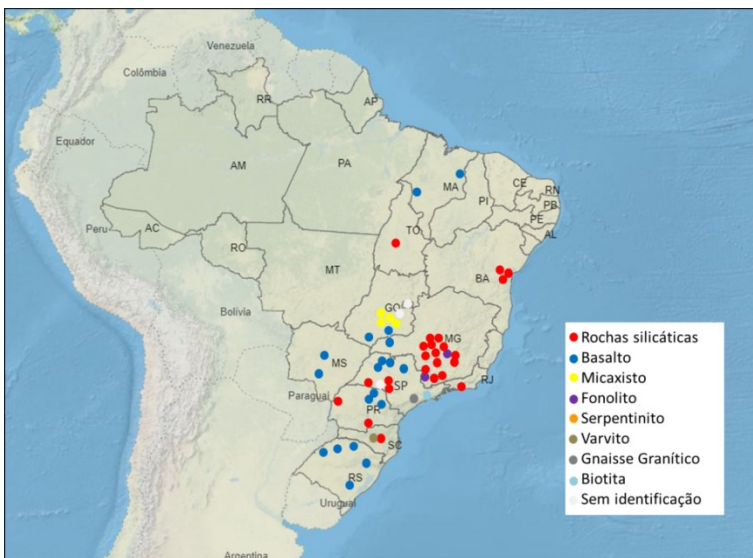
Gráfico 1. Remineralizadores registrados no MAPA ao longo dos anos (2018-2023).

² Web page destinada aos assuntos relativos aos remineralizadores: <https://www.cprm.gov.br/remineralizadores/>

³ <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/pages/SIPEAGRO.html>

Observa-se que o total de registros manteve-se igual nos anos de 2018 e 2021, e foi reduzido nos anos de 2019 e 2020, período intenso da pandemia do Coronavírus no mundo e, conseqüentemente, paralisação de diversas atividades. No ano de 2022 o número de registros dobrou em relação à do ano anterior, e a tendência é que aumente até o final de 2023 e nos anos futuros, visto que a projeção do Plano Nacional de Fertilizantes (GTI-PNF) é de uma produção de 18 milhões de toneladas anuais de remineralizadores até 2050.

A Figura 5 mostra os remineralizadores registrados nos estados brasileiros até o mês de março de 2023.



Fonte: Autores

Figura 5. Diferentes tipos de remineralizadores registrados no MAPA por estados.

Além da alta produção de remineralizadores e de outras iniciativas relacionadas pelo GTI-PNF há, também, o incentivo em pesquisas geológicas; à caracterização e quantificação de subprodutos e resíduos da mineração que possam ser usados como remineralizadores. E esse último aspecto é de suma importância visto que um dos grandes “gargalos” da mineração é a destinação de seus resíduos. Essa iniciativa poderia ser incorporada, inclusive, no escopo dos Arranjos Produtivos Locais (APLs), proporcionando retorno econômico tanto para a mineradora quanto para o produtor, como defendido pela Abisolo – Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal⁴.

Nesta perspectiva, considerando o avanço do número de remineralizadores registrados junto ao MAPA nos últimos anos, e por se tratar de um material que é aporte para o cultivo de alimentos, o controle de qualidade dos produtos acabados deve ser uma premissa básica. Nesse sentido, a utilização de materiais de referência certificados (*i.e* padrões de referência) manufaturados a partir de rochas, pode significar a garantia de uma produção segura no curso das análises químicas de remineralizadores para a quantificação dos macro e micro nutrientes e, principalmente, das substâncias contaminantes.

⁴ Apresentação disponível online sem data de publicação. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/insumos-agropecuarios/anos-anteriores/atualizacao-de-fertilizantes-abisolo-84.pdf>

4 | A IMPORTÂNCIA DOS MATERIAIS DE REFERÊNCIA

Os materiais de referência certificado - MRC são desenvolvidos com base nas orientações descritas no conjunto de normas técnicas, da série ISO, destinadas à produção e certificação de MR, como, a norma ISO *Guide* 30 que descreve os termos e definições relacionados à MR (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015); a ISO *Guide* 31 aborda assuntos relacionados à preparação do certificado e rótulos de um MR (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015a); e a norma ISO *Guide* 33 descreve as boas práticas no uso de materiais de referência (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015b). A Norma ISO 17034 trata dos requisitos gerais para a competência de produtores de MR (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016). E os princípios gerais, como os estudos de homogeneidade, estabilidade, caracterização e tratamentos estatísticos para certificação dos MR são tratados na ISO *Guide* 35 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2017).

Inicialmente, essas Normas foram elaboradas pelo comitê internacional científico - *Council Committee on Reference Materials of the International Organization for Standardization* (ISO/REMCO), que atualmente é substituído por um novo grupo, denominado ISO/TC 334. Essa comissão tem como objetivo a harmonização da produção e uso de materiais de referência, seus conceitos, termos e definições, além de promover o diálogo entre diferentes instituições internacionais relacionadas a materiais de referência (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2020).

Segundo a norma ISO Guide 30:2015 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), material de referência certificado é:

(...) um material de referência (MR) caracterizado por um procedimento metrologicamente válido para uma ou mais propriedades especificadas, acompanhado de um certificado que fornece o valor de propriedade especificada, sua incerteza associada e uma declaração de rastreabilidade metroológica.

Esses materiais são importantes para diversas finalidades como: calibração e avaliação de sistemas/procedimentos de medição; comparações interlaboratoriais para validação de métodos analíticos; avaliação de proficiência de laboratórios; gerenciamento de precisão nas análises utilizadas no dia-a-dia; preparação de curva de calibração nas análises instrumentais e atribuição de valores a outros materiais. Desempenham um papel importante na garantia de resultados analíticos com alta qualidade, confiabilidade e rastreabilidade de medição realizados pelos laboratórios (GOES et al., 2019; TAKASHI, O., 2016).

O uso pretendido de um material de referência indica os fins para os quais o MRC pode ser empregado em um processo de medição. Ao adquirir um MRC algumas informações devem ser consideradas, como por exemplo, i) se a matriz e o nível de concentração são apropriados ao uso pretendido; ii) se os valores de propriedades certificados estão acompanhados com suas respectivas incertezas e rastreabilidade metroológica; e iii) se a quantidade disponível na embalagem é suficiente para todo o processo no qual será empregado, incluindo uma quantidade reserva, caso necessário. Além disso, convém que o material

apresente propriedades estáveis no período necessário ao laboratório. Essas informações devem estar discriminadas no certificado (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015b).

Há uma vasta diversidade de materiais de referência produzidos ao redor do mundo, de diversos tipos de matrizes: biológicas, químicas, ambientais etc. Os MRCs de origem geológica, como as rochas, solos, minérios e minerais são, normalmente, pós, obtidos a partir de operações de cominuição, seguido de homogeneização.

A utilização de materiais de referência certificado garante ao usuário a segurança no atestado de seus resultados, descartando possíveis interferências que possam surgir durante suas análises. E disso decorre a importância da utilização de um MRC semelhante à amostra a ser analisada, tanto com relação à matriz quanto às características químicas. Interferências espectrais, por exemplo, são comuns em análises instrumentais, e a detecção de traços e ultra traços de elementos também podem ocasionar erros na quantificação.

O Centro de Tecnologia Mineral – CETEM é acreditado como produtor de materiais de referência certificados de minérios e minerais, em conformidade com a norma ISO 17034 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2016), pela American Association for Laboratory Accreditation - A2LA. A produção diz respeito a todas as atividades necessárias ao desenvolvimento e entrega de materiais de referência certificados aos clientes, incluindo planejamento e controle de produção, manuseio e armazenamento de material, processamento da matéria-prima, avaliação de

homogeneidade e estabilidade, caracterização, atribuição de valores de propriedades e suas incertezas, emissão de certificados e serviço pós-distribuição (GOES et al., 2019).

Materiais de referência podem ser encontrados, diretamente, nos *websites* de produtores, em bancos de dados, como COMAR⁵ (*International Database for Certified Reference Materials*) ou GeoREM⁶ (*Geological and Environmental Reference Materials*) e também nos sites de revendedores. O COMAR apresenta a listagem dos principais institutos nacionais de metrologia do mundo, que produzem materiais de referência, e o GeoREM é um banco de dados específico para os aqueles de origem geológica e ambiental. A Tabela 1 apresenta alguns produtores de MRC de rochas, as matrizes e os códigos de cada um deles, disponíveis no mercado.

⁵ Disponível em: <http://www.comar.bam.de>

⁶ Disponível em: <http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/>

Tabela 1. Materiais de referência certificados.

Produtor	MRC	Código do MRC
Central Geological Laboratory - CGL	Basalto	CGL 007; CGL014
Geological Survey of Japan - GSJ	Basalto	JB-2a; JB-3a
Institute for Reference Materials and Measurement - IRMM	Rocha de fosfato	BCR 032
	Rocha ultramáfica	IAG MUH-1
International Association of Geoanalysts - IAG	Rocha ultramáfica	IAG OKIM
	Diabásio	IAG OU-1
	Diabásio	IAG OU-5
Institute of Geochemistry A.P. Vinogradov - Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences - IGH SBRAS	Dunito	SDU-1 (GSO 4233-88)
	Xisto	SLg-1 (GSO 8550-04)
	Dunito	NIM-D SARM 6
South African Reference Material - SARM – Mintek	Rocha fosfática	SARM 32
	Xisto carbonáceo	SARM 41
	Xisto de silimanita	SARM 44
	Diabásio	SARM 50
Natural Resources Canada - NRC	Diabásio	TDB-1
National Institute of Standards and Technology - NIST	Basalto	SRM 688
	Rocha fosfática	SRM 694
Ore Research & Exploration Pty Ltd - OREAS	Basalto	OREAS 24c; 26b; 30a
United States Geological Survey - USGS	Basalto	BCR-2; BIR-1; BHVO-2
	Diabásio	W-2; DNC-1; DNC-1a
	Mica xisto	SDC-1; SDC-1a; 1b

O CETEM, em conformidade com o Subprograma II – Agrominerais, do Programa Minerais Estratégicos do Plano Diretor do CETEM 2017-2022 (CETEM, 2021), pretende proporcionar à comunidade técnico/científica uma demanda de MRCs de remineralizadores. Atualmente, encontra-se em produção dois MRCs de basalto, provenientes do Estado de São Paulo, e dois de diabásio, sendo um material do Estado de São Paulo e o outro do Paraná, um material de dunito e um de fonolito, fornecidos por mineradoras localizadas no Estado de Minas Gerais. Além dessas matrizes, o CETEM pretende produzir mais dois materiais de referência: um de calcixisto e um de olivina melilitito.

Com a estimativa de aumento do número de produtores de remineralizadores de solo, segundo o GTI-PNF (2050), os parâmetros de controle de qualidade das análises químicas devem ser estimulados. Assim, os materiais de referência desses produtos podem ser utilizados como forma de assegurar a confiabilidade e rastreabilidade das análises de macro e micronutrientes, além dos contaminantes presentes nas amostras em atenção a IN 5/2016 (BRASIL, 2016).

3 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações propostas pelo GTI-PNF, no que tange aos remineralizadores de solos, podem significar avanços importantes para a autonomia de fertilizantes no Brasil e contribuir para uma produção agrícola sustentável. O fomento do mapeamento geológico dos estados brasileiros, com potencialidade de remineralizadores, tem possibilidade para a formação de um banco de dados regional, facilitando a identificação das características químicas das rochas, propiciando, também, a produção de materiais de referência certificados por área de exploração. Nesse aspecto, a confiabilidade dos resultados analíticos, para o atendimento a IN 5/2016, não só estaria assegurada pelo material de referência certificado em si, mas também pela sua identidade geológica.

Outro aspecto a ser abordado em trabalho futuro é um modelo de laboratório com rotas para análises químicas de remineralizadores com a utilização de materiais de referência certificados e a estatística básica necessária para dar suporte à qualidade dos resultados produzidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L.G. de; CANDIAN, J.; CARDOSO, A. I.I.; GRASSI FILHO, H. Nitrogen, phosphorus, and potassium content of six biofertilizers used for fertigation in organic production system. **COMUNICATA SCIENTIAE**, v. 12, 2021.

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

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. RELATÓRIO SOBRE O MERCADO DE FERTILIZANTES – JANEIRO A NOVEMBRO/2022. 2023. Disponível em: <<http://anda.org.br/wp-content/uploads/2023/02/Comentarios.pdf>>. Acesso em maio 2023.

ARAGÃO, A.; CONTINI, E. **O agro no Brasil e no Mundo**. Um panorama do período de 2000 a 2021. Embrapa, 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/10180/26187851/O+agro+no+Brasil+e+no+mundo/098fc6c1-a4b4-7150-fad7-aaa026c94a40>>. Acesso em março 2023.

Atlas do Agronegócio Brasileiro. **Uma jornada sustentável**. 2ª edição, 2022. Disponível em: < <https://croplifebrasil.org/noticias/segunda-edicao-do-atlas-do-agronegocio-brasileiro/>>. Acesso em fevereiro 2023.

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

BRASIL. 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. Brasília, 1980. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei-6894-16-dezembro-1980-371561-publicacaooriginal-1-pl.html>> Acesso em março 2023.

_____. Lei 12.890 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm> Acesso em outubro 2020.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa Nº 5, de 10 de março de 2016. Brasília, 2016. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-5-de-10-3-16-remineralizadores-e-substratos-para-plantas.pdf>>. Acesso em outubro 2020.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Anuário estatístico 2021**. Setor de Transformação de Não Metálicos. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. BRASÍLIA: MME/SGM, 2021. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/publicacoes-1/anuario-estatistico-do-setor-metalurgico-e-do-setor-de-transformacao-de-nao-metalicos>>. Acesso em fevereiro 2023.

_____. Decreto nº 10605 de 22 de janeiro de 2021. Institui o Grupo de Trabalho Interministerial com a finalidade de desenvolver o Plano Nacional de Fertilizantes. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/D10605.htm Acesso em março 2023.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano nacional de fertilizantes: estatísticas do setor. 2022. Disponível em: < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/plano-nacional-de-fertilizantes/estatisticas-do-setor>>. Acesso em maio 2023. (MAPA, 2022).

CAMARA, G.R.; FAITANIN, B.X.; SILVEIRA, L.L.L.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, E.S. Utilização de rochas ornamentais ricas em minerais potássicos como fonte alternativa de insumo agrícola via rochagem – Parte I. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2021. **Série Rochas e Minerais Industriais**, v. 30, p. 71.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL. CETEM. **Agrominerais**. Rio de Janeiro: CETEM, 2015. Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/acoese-programas/projetos-estruturantes/item/1333-agrominerais>> Acesso em abril 2020.

_____. CETEM. **Plano Diretor da Unidade – PDU 2017 – 2022**. Rio de Janeiro. CETEM, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/cetem/acesso-a-informacao/documentos-de-gestao/plano-diretor-da-unidade-pdu>> Acesso em outubro 2021.

CHESWORTH, W. Late Cenozoic geology and the second oldest profession. **Geoscience** Canada, v. 9, p. 54-61, 1982.

CHESWORTH, W.; VAN STRAATEN, P.; SEMOKA, J. Agrogeology in East Africa: the Tanzania-Canada project. **Journal of African Earth Sciences**, v. 9, p. 357-362, 1989. [https://doi.org/10.1016/0899-5362\(89\)90078-X](https://doi.org/10.1016/0899-5362(89)90078-X).

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

Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil – CNA. Mercado em foco Impactos do conflito entre Rússia e Ucrânia no mercado agropecuário, em especial de fertilizantes. Núcleo de Inteligência de Mercado. Edição 6 - março de 2022.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM - Serviço Geológico do Brasil. O que é sílica livre?. Brasília, DF: CPRM, 2022. Disponível em: <<https://www.cprm.gov.br/remineralizadores/faq.html>>. Acesso em maio 2023.

Departamento Nacional de Produção Mineral. Informe Mineral. Brasília: DNPM, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/informe-mineral/publicacoes-nacionais/informe-mineral-2009-1o-semester/view>>. Acesso em março 2023.

FERNANDES, F.R.C.; LUZ, A.B.; CASTILHOS, Z.C. (2010). **Agrominerais para o Brasil**. 1ed. Rio de Janeiro, RJ: CETEM, v. 1. 380 p.

FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I.; LEONARDOS, O.H.; OLORUNFEMI, N. Global tectonics and agriculture: a geochemical perspective. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 9, p. 383-399, 1983. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(83\)90023-3](https://doi.org/10.1016/0167-8809(83)90023-3).

GOES, M. A. C., SCHNEIDER, C. L. ARAUJO, P. C. **Protocolo de moagem com bolas utilizado no processamento de materiais de referência de rochas**. XXVIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Belo Horizonte- MG, Novembro, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO GUIDE 30:2015** Reference materials – Selected terms and definitions. Geneva: ISO 2015.

_____. **ISO 17034:2016**. General requirements for the competence of reference material producers. Geneva: ISO, 2016.

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

HENSEL, J. Bread from Stones: A New and Rational System of Land Fertilization and Physical Regeneration. A.J. Tafel, 1894. DOI: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.42970>.

KELLER, W.D. Native rocks and minerals as fertilizers. **The Scientific Monthly**, v. 66, p. 122-130, 1948.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. **Chemical Geology**, v. 60 p. 361 - 370, 1987. DOI: [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90143-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90143-4).

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.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. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009855409700>.

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

MOTTA, M.B. Avaliação do potencial de potássio no Brasil: área Bacia do Amazonas, setor centro-oeste, estado do Amazonas e Pará. Manaus: CPRM, 2020.

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

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

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

OLMO R.; WETZELS, S.U.; AEMANHI, J.S.L.; ARRUDA, P.; BERG, G.; GERNAVA, T., et al. Microbiome Research as na Effective Driver of Success Stories in Agrifood Systems – A Selection of Case Studies. **Frontiers in Microbiology**. v. 13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.83462>.

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

SANTOS, E.S.; CARVALHO, A.H.O.; CAMARA, G.R. Caracterização e uso de resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais na produção de mudas de tomateiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 9, p. 91480-91498, 2021.

SANTOS, E.S.; NEVES, M.A.; CAMARA, G.R. Pó de rocha oriundo da lavra e do beneficiamento de rochas ornamentais como remineralizador de solos agrícolas. In: COSTA, A.V. et al. (Eds.). Tópicos especiais em agroquímica II. Capítulo 2. Vitória, ES: UFES, p. 14-36, 2022.

SECRETARIA ESPECIAL DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS. SAE-PR. Produção Nacional de Fertilizantes. Estudo estratégico. Brasília. SAE-PR, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/assuntos/assuntos-estrategicos/documentos/estudos-estrategicos/sae_publicacao_fertilizantes_v10.pdf> Acesso em fevereiro 2023.

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

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

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

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

TAKASHI, O. Development and utilization of geochemical reference materials – Reliability improvement in the analysis of geological materials. **Synthesiology** – English edition, v. 9, N° 2 (2016) 60-72.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 78, p. 721-730, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0001-37652006000400008>.

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

_____. Agrogeology: the use of rocks for crops. Ontario: **Enviroquest**, 2007. p. 426.

_____. Distribution of agromineral Resources in space and time – a global geological perspective. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 57, (2022) p. 1-22.

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

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2023, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 380 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/repositorio-mineralis-e-biblioteca>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-121 – **Introdução ao cultivo de microrganismos utilizados na biolixiviação de minérios.** Luis Gonzaga Santos Sobral, Andriela Dutra Norberto de Oliveira, Amanda Gomes Tavares de Miranda, Naiara Soares Bello, 2023.

STA-120 – **Estudo da degradação das cúpulas do Museu Nacional de Belas Artes – RJ e otimização do processo de limpeza por emplastro.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Caroline Martins de Souza, Elson Rian Rodrigues de Albuquerque, Marceli do Nascimento da Conceição, 2023.

STA-119 – **Biodeterioração dos painéis de azulejos de Cândido Portinari do Palácio Gustavo Capanema.** Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, Giovana Oliveira dos Santos Consoli, Claudia Regina Nunes, 2022.

INFORMAÇÕES GERAIS

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

NOVAS PUBLICAÇÕES

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

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



Missão Institucional

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

O CETEM

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

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

Durante seus 45 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.