

## O USO DE TÉCNICAS SUSTENTÁVEIS PARA REMINERALIZAÇÃO DE SOLOS DE REGIÕES TROPICAIS

*THE USE OF SUSTAINABLE TECHNIQUES FOR SOIL REMINERALIZATION IN TROPICAL REGIONS*

**Viviane Souza de OLIVEIRA<sup>1</sup>, Ricardo Galeno Fraga de Araújo PEREIRA<sup>1</sup>,  
Maria da Conceição RABELO GOMES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Geologia. Instituto de Geociências, Rua Barão de Jeremoabo, s/n - Campus Universitário de Ondina. Salvador/Bahia - Brasil. E-mails: vivianeoliveira2423@gmail.com; fraga.pereira@ufba.br

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Estado do Pará (UEPA). Avenida Hiléia, s/nº - Agrópolis do Inera - Bairro Amapá. Marabá - Pará - Brasil. E-mail: conceicaoabelo@yahoo.com.br

Introdução  
Materiais, métodos e técnicas  
    Tabulação de estudos de eficiência agrônômica  
    Confecção de mapa  
Apresentação dos dados  
    Histórico das técnicas remineralizadoras no setor agrícola  
    Incompatibilidade do manejo convencional em latossolos  
Discussões, interpretação e resultados  
    Características dos latossolos  
    Técnica da rochagem utilizando rochas silicáticas como remineralizador em solo tropicais  
    Técnica de biofertilização como catalisadora na disponibilização dos nutrientes à planta.  
Considerações finais  
Agradecimentos  
Referências

**RESUMO** - A combinação das tecnologias da rochagem e da biofertilização podem ser empregadas, de maneira combinada, para ampliar a disponibilização de nutrientes e para a revitalização de solos de regiões tropicais. Esse trabalho objetiva apresentar, particularmente para o setor agrícola baiano, uma compilação e análise do estado da arte sobre essas duas tecnologias - que representam alternativas sustentáveis para viabilizar a remineralização de solos. Para tanto, utilizou-se de: a) análise e interpretação de bases de dados disponíveis, visando a identificação de áreas com ocorrências potenciais de rochas silicáticas multinutrientes e a demanda de remineralizadores no Estado; b) compilação dos conhecimentos relativos aos ensaios de eficiência agrônômica dos remineralizadores, e c) associação dos conceitos de remineralizadores e biofertilização, discutindo os mecanismos por meio dos quais a combinação dessas duas tecnologias pode acelerar a liberação de nutrientes para o solo. Ao longo do trabalho foram analisadas e demonstradas as vantagens do emprego dessas técnicas, bem como os benefícios às plantas e, por extensão, aos alimentos produzidos, aos seres vivos e, principalmente, ao meio ambiente. Importa destacar que a combinação dessas técnicas é capaz de promover a manutenção da fertilidade do solo ao longo do tempo e reduzir gastos com insumos importados.

**Palavras-chave:** Rochagem. Biofertilização. Latossolos. Pó de rocha. Remineralizador.

**ABSTRACT** - The combination of rock dust and biofertilization technologies can be used, in a combined way, to increase the availability of nutrients and to revitalize soils in tropical regions. This work aims to present, particularly for the Bahian agricultural sector, a compilation and analysis of the state of the art on these two technologies - which represent sustainable alternatives to enable soil remineralization. For that, we used: a) analysis and interpretation of available databases, aiming at identifying areas with potential occurrences of multinutrient silicate rocks and the demand of remineralizers in the State; b) compilation of knowledge related to agronomic efficiency tests of remineralizers, and c) association of the concepts of remineralizers and biofertilization, discussing the mechanisms through which the combination of these two technologies can accelerate the release of nutrients to the soil. Throughout the work, the advantages of using these techniques were analyzed and demonstrated, as well as the benefits to plants and, by extension, to the food produced, to living beings and, mainly, to the environment. It is important to highlight that the combination of these techniques is capable of promoting the maintenance of soil fertility over time and reducing expenses with imported inputs.

**Keywords:** Rocking. Biofertilization. Oxisols. Rock dust. Remineralizer.

### INTRODUÇÃO

Esta pesquisa analisou o uso de técnicas alternativas sustentáveis para viabilizar a remineralização e/ou rejuvenescimento de solos de regiões tropicais, frequentemente intemperizados, classificados como Latossolos pela EMBRAPA (2018), no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, com base em suas características físicas, químicas e biológicas. Segundo IBGE (2018), representa

uma área de 40,72% do território baiano.

Lima & Carmo (2006) salientam que o uso desses materiais geológicos associados a biofertilização, representa uma opção tecnológica com viés mais sustentável, uma vez que o uso de materiais organo-minerais potencializa a formação de um banco de nutrientes através da formação gradual de novas fases minerais capazes de promover

maior reatividade aos solos, favorecendo melhores condições de fertilidade através da disponibilização equilibrada dos nutrientes contidos nesses materiais.

Conforme Theodoro et al. (2006), a rochagem é uma prática na qual ocorre a incorporação de material geológico, pó de rocha ou sedimento para requalificar positivamente os parâmetros de fertilidade do solo. Nesta perspectiva, as rochas silicáticas utilizadas no âmbito da rochagem precisam atender ao disposto na legislação (Lei nº 12.890/2013 e a Instrução Normativa 05/2016 – MAPA), pois são materiais que possuem baixa solubilidade. Entretanto os mecanismos relacionados ao biointemperismo permitem, em conjunto com a biofertilização - técnica catalisadora da disponibilização de nutrientes por meio da inoculação de microrganismos eficientes ao solo e recomposição da vida - a ampliação da atividade biológica que foi drasticamente reduzida, seja por deficiência de nutrientes, seja pela utilização de pesticidas ou pela combinação dessas práticas (Blaskowski et al., 2016).

Contrariando às imposições do mercado, por parte da indústria química, que condiciona agricultores à compra de insumos importados, uma parcela cada vez maior de produtores agrícolas tem apostado em pesquisas promovidas pelas universidades, em busca de práticas de manejo que possam viabilizar novos sistemas produtivos por meio de novas fontes nutricionais com maior eficiência, mais economia e com acessibilidade, uma vez que as lavouras têm apresentado diminuição de produtividade, devido uma prática agrícola insustentável (Lima & Carmo, 2006). Da Silveira Toscani & Campos (2017) destacam que, dentre todas as técnicas que vêm sendo pesquisadas, o uso dos remineralizadores mostra-se com cunho mais promissor para o futuro da agricultura tropical no Brasil, considerando as exigências nutricionais da cultura implantada, necessidades do solo, condições edafoclimáticas, dentre outras.

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivo geral apresentar, particularmente para o setor agrícola baiano, uma compilação e análise do estado da arte sobre essas duas tecnologias - que repre-

sentam alternativas sustentáveis para viabilizar a remineralização de solos. Para tanto, utilizou-se das seguintes técnicas: a) análise e interpretação de bases de dados disponíveis, visando a identificação de áreas com ocorrências potenciais de rochas silicáticas multinutrientes e a demanda de remineralizadores no Estado; b) compilação dos conhecimentos relativos aos ensaios de eficiência agrônômica dos remineralizadores, e c) associação dos conceitos de remineralizadores e biofertilização, discutindo os mecanismos por meio dos quais a combinação dessas duas tecnologias pode acelerar a liberação de nutrientes para o solo.

Desta forma, conforme discutido por Lima & Carmo (2006), foi possível evidenciar ao longo deste trabalho, as vantagens provenientes da combinação destas duas técnicas sustentáveis para remineralização dos Latossolos presentes em grande parte do território da Bahia, pois apresentam muitas vantagens ao solo, às plantas, aos alimentos produzidos, aos seres vivos e, principalmente, ao ambiente. Já que se tratam de técnicas de baixo custo e, segundo Assis & Romeiro (2002), resultam na manutenção da fertilidade ao longo do tempo e asseguram a qualidade das águas subterrâneas, favorecendo o equilíbrio ambiental.

Este trabalho também poderá ampliar o campo de atuação dos geólogos, bem como expandir as alternativas de matérias primas para produção de insumos agrícolas nacionais. Também, contribuirá para uma destinação mais nobre de passivos da mineração, já que estereis de minério podem também ser utilizados na remineralização de solos, agregando valor a esses materiais por meio de políticas de baixo carbono, alinhadas com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, propostos pelas Organizações das Nações Unidas – ONU. Nesse quesito, destaca-se o alinhamento da temática e resultados dessa pesquisa com os ODS 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável; 6 – Água Potável e Saneamento e 12 – Consumo e Produção Responsáveis. Para além desses aspectos, os resultados dessa pesquisa poderão ainda apontar alternativas sustentáveis para Planos de Recuperação de Áreas Degradadas – PRAD e Planos de Fechamento de Minas.

## MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

O trabalho de pesquisa partiu de uma revisão sistemática da bibliografia, mediante a compilação e análise do estado da arte sobre a temática do uso de determinados tipos de rochas silicáticas multi-nutrientes moídas, aliada à biofertilização,

no manejo de solos de Latossolos. Para além disso, foi realizado o mapeamento remoto das áreas com potencial oferta e demanda de remineralizadores, utilizando-se das informações disponíveis em bases de dados de órgãos oficiais, para o Estado

da Bahia. Essas etapas realizadas serão listadas e comentadas a seguir.

### **Tabulação de estudos de eficiência agronômica**

Foram pesquisados e tabulados os estudos que demonstram a viabilidade do emprego da técnica de rochagem, com vista a identificar potenciais remineralizadores de solo. Em paralelo foram também pesquisados e tabulados os estudos que demonstram o emprego da biofertilização, como técnica catalizadora na disponibilização dos elementos químicos presentes nos remineralizadores às plantas e, por vezes, a combinação das duas técnicas.

As pesquisas foram realizadas por meio da extensão do Google - Google Acadêmico, utilizando as seguintes palavras-chave: rochagem, pó de rocha, remineralizador, microrganismos eficientes, biofertilização, Latossolo, solos tropicais e agroecologia. Os critérios utilizados para seleção dos resultados obtidos foram: artigos apresentando testes de eficiência agronômica que demonstram resultados de sucesso quando submetidos as técnicas propostas e, por vezes, dos insucessos que permitiram aprimoramentos de técnicas.

Posteriormente, foram confeccionadas tabelas

apresentando informações a respeito de empresas e países produtores de fertilizantes químicos solúveis, apresentando as extensões de suas respectivas áreas destinadas à agricultura de orgânicos. Além da tabulação de temáticas concernentes a aplicação do manejo convencional e do manejo agroecológico em solos tropicais.

### **Confecção de Mapa**

O produto cartográfico foi elaborado por meio do software Arcgis 10.2, na escala 1: 4.000.000. Os aspectos geológicos estão vinculados às exigências presentes na Instrução Normativa Nº 5, publicada em 10 de março de 2016; apresentando as rochas silicáticas com potencial remineralizador, categorizadas por tipo litológico. No que diz respeito a temática dos solos foi utilizado o filtro para seleção dos Latossolos no estado, de acordo com informações presentes em IBGE (2018).

Este mapa representa o potencial das técnicas da remineralização em atender ao setor agrícola na Bahia, com destaque aos municípios onde já existem estudos de eficiência agronômica. Para a elaboração deste mapa, foram utilizadas informações presentes nas seguintes obras: IBGE (2018); Brasil (2010) e Bergmann (2017).

## **APRESENTAÇÃO DOS DADOS**

### **Histórico das técnicas remineralizadoras no setor agrícola**

A citação mais antiga na literatura que aborda a rochagem com rochas silicáticas remineralizadoras ocorre no ano de 1898 no livro *Pães de Pedra*, onde o químico alemão Julius Hensel declara seus conceitos de fertilidade do solo e a máxima “é das farinhas de rochas que faremos nossos pães”. Grande parte da obra de Julius Hensel foi destruída após as últimas grandes guerras, há pouco mais de 50 anos, quando a indústria química encontrou na agricultura um mercado possível para seus produtos (Hensel, 2003). Em 1860, Justus Von Liebig, químico alemão e proprietário de fábricas de fertilizantes, criou a Lei do Mínimo, na qual a produtividade é limitada pelo elemento que estiver em menor proporção em relação às suas necessidades (Lopes & Guilherme, 2007).

Essa lei orienta a adubação para suprimento de nutrientes considerando seus limites mínimos de teores, verificados em cinzas de sementes carbonizadas, analisadas em experimentos laboratoriais. Como tais cinzas analisadas apresentavam consideráveis teores de ácido fosfórico e de potássio, configurou-se, assim, os macronutrientes - NPK

(nitrogênio, fósforo e potássio), como elementos mais importantes na produção agrícola (Hensel, 2003).

Essa lei permanece vigente nas escolas de agronomia até hoje. Entretanto, como o equilíbrio entre as quantidades, as interações e as disponibilidades dos outros nutrientes na solução do solo não foram levados em consideração, a prática agrícola em solos tropicais começou, desde então, a ser comprometida (Rosset, 2014).

Além disso, a referida “Lei do Mínimo” não tem acompanhado o avanço biotecnológico atual, assim como as demandas e necessidades verificadas na produção de alimentos, como: relações ecológicas, conservação do ambiente e saúde nutricional (Kreuz et al., 1995). Para além de análises rudimentares de cinzas de sementes, na qual se baseou a referida “lei”, métodos analíticos modernos, com limites de detecção cada vez mais sensíveis, são capazes de identificar a presença de nutrientes traços e ultra traços, muito importantes na estruturação da cadeia biológica (Hensel, 2003).

A FAO (órgão da Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) e o Banco Mundial foram os principais responsáveis pela criação de

diversas políticas para expandir e assegurar este mercado no mundo, utilizando a proposta vinculada à “Revolução Verde”. No Brasil, em 1965, foi criado o Sistema Nacional de Crédito Rural, que condicionava o crédito agrícola à compra de insumos químicos e equipamentos.

Em 1975, houve a criação do Plano Nacional de Defensivos Agrícolas, presente no II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND). Essas políticas entre outras tantas, incluíram decretos e leis com isenções fiscais e tributárias, tornando o Brasil o principal destino dos produtos agroquímicos, considerando seu grande potencial no setor agrícola (Londres, 2011).

**Tabela 1** - Ranking das principais empresas produtoras de fertilizantes químicos solúveis no mundo e suas origens.

Fonte dos dados: Agrow (2011).

Posição	Empresas	Origem	Faturamento de 2010 em US\$ Milhões
1	Bayer CropScience + BASF	Alemanha	13.512
2	Dow AgroSciences + Monsanto + DuPont + FMC	EUA	11.502
3	Syngenta	Suíça	8.878
4	Sumitomo Chemical + Arysta LifeScience + Ishihara Sangyo Kaisha + Kumiai Chemical + Mitsui Chemicals Agro + NipponSoda + Nissan Chemical + Nihon Nohyaku	Japão	5.122
5	Makhteshim-Agan	Israel	2.180
6	Nufarm	Austrália	1.995
7	United Phosphorus	Índia	1.140
8	Chemnova Dinamarca	Dinamarca	936
9	Sipcam-Oxon Itália 369	Itália	369

**Tabela 2** - Ranking dos países que praticam agricultura orgânica e a extensão da área destinada à agricultura de orgânicos no mundo. Fonte dos dados: Ormond (2002).

Posição	País	Manejo Orgânico (Mil ha)	Área total destinada à agricultura (Mil ha)	%
1	Cuba	109.884	109.884	100
2	Áustria	290	3.415	8,49
3	Suíça	95	1.071	8,87
4	Itália	950	17.160	6,47
5	Suécia	172	2.743	6,26
6	Dinamarca	165	2.689	6,14
7	Alemanha	452	17.160	2,63
8	Reino Unido	425	18.500	2,30
9	Argentina	3.000	169.492	1,77
10	EUA	900	450.000	0,20
11	Brasil	270	353.611	0,08

No Brasil, Ana Primavesi, engenheira agrônoma austríaca, radicada no Brasil, contribuiu com os conceitos de agroecologia até o seu último ano de vida em 2020, deixando um legado para agricultura brasileira e exercendo uma importante influência no cenário agroecológico.

Othon Leonardos foi o pioneiro da temática dos remineralizadores no Brasil, em um de seus

Desta forma, a tabela 1 apresenta as empresas que controlam cerca de 85% do mercado de insumos agrícolas, e que segundo Pelaez et al. (2010), têm ditado as receitas para o manejo convencional dos solos no mundo.

Na tabela 2 observa-se Cuba liderando a prática da agricultura orgânica mundial, em termos de hectares plantados. Segundo Bueno (2015), bloqueios comerciais impostos pelo mercado mundial conduziram o pioneirismo cubano em práticas sustentáveis, visto que, diante da necessidade de utilização de insumos próprios, acabaram por desenvolver políticas sólidas de segurança alimentar.

trabalhos ele destaca a “Importância de uma rede tecnológica de rochagem para a sustentabilidade em países tropicais”. Atualmente, o professor Eder Martins, geólogo e pesquisador da EMBRAPA, é a principal referência da temática dos remineralizadores no Brasil, juntamente com a professora Suzi Theodoro, Universidade de Brasília (UnB).

Conforme Lima & Carmo (2006), a deser-

tificação dos solos resultará no esgotamento do potencial de produção de alimentos. Assim como, civilizações que nos antecederam já experimentaram eventos de extinções, ao longo do processo evolutivo do planeta, devido a práticas incompatíveis na agricultura.

### **Incompatibilidade do manejo convencional em Latossolos**

De acordo com Ker (1997), os Latossolos constituem a classe de solo de maior utilização agrícola no Brasil. Resende & Ker (1996) estabelecem que se a lixiviação e a erosão exportam elementos químicos do meio, a sua reatividade é modificada. Esses autores destacam o papel do solo como ambiente de decomposição e reação, sendo então um elemento decisivo na qualidade do ambiente. Nesse contexto, a matéria orgânica e os óxidos do solo são de suma importância. A primeira pelo seu poder de neutralização dos pesticidas, os segundos, principalmente os de ferro e manganês, pela sua capacidade de reação com alguns elementos no solo, em especial os metais pesados como Cádmio, Cromo e Chumbo que são potencialmente prejudiciais à saúde, tornando-os mais complexos (Lacerda et al., 1989).

Primavesi (2006) ressalta que os Latossolos possuem, como principal fonte de nutrientes, a ciclagem de matéria orgânica, uma vez que suas argilas, geralmente, não possuem superfície específica suficiente para a retenção dos nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento equilibrado da planta. Segundo Ahrens (1961), os Latossolos manejados com campanhas de fertilizantes químicos solúveis e pesticidas matam todo e qualquer potencial de vida em suas diferentes modalidades. Ora por desequilíbrio químico, ora por envenenamento, ora pela combinação desses fatores. Esse autor afirma ainda que, como resultado dessa interação, a planta perde seu potencial de resiliência frente a fatores biofísicos, tornando-se completamente dependente da indústria química, como o que também está ocorrendo com o homem.

Além do exposto acima, Alves (2014) alertou para o fato de que produtores agrícolas vêm relatando baixa fertilidade do solo, o uso excessivo de pesticidas e agrotóxicos, alimentos pouco nutritivos, pouco atrativos, baixa durabilidade e custo de produção cada vez mais inviável, indicando que a “revolução verde”, já não é a forma de manejo mais eficiente, por se tratar de práticas incompatíveis aos solos tropicais. Aliado a isso, a análise de variáveis ambientais e epidemio-

lógicas têm revelado que o manejo convencional tem sido responsável pelo desequilíbrio e contaminação do solo (Yama, 1987).

Na tabela 3 são tabulados estudos que avaliam os impactos do manejo convencional dos Latossolos, destacando os aspectos que inviabilizam esse tipo de manejo, bem como destaca alguns dos aspectos positivos da agricultura orgânica.

O solo saudável e ideal para agricultura é constituído de 50% de material sólido (45% mineral + 5% matéria orgânica) e 50% de poros (25% água + 25% ar). Os poros representam 50% do que o solo é, e o protagonismo desta realização se dá pela presença da atividade biológica, que também fornece matéria orgânica e determina a produção de compostos orgânicos fundamentais às plantas (Moniz, 1972).

Produtores agrícolas e algumas entidades têm se dedicado às pesquisas sobre eficiência das técnicas de remineralização e biofertilização, obtendo resultados satisfatórios, conforme informações compiladas na tabela 4. Estes resultados apontam a viabilidade da substituição de fertilizantes sintéticos químicos, de alta solubilidade, por insumos com taxas de liberação de nutrientes ajustadas à demanda das culturas ao longo do tempo, conforme discutido por Neves et al. (2004) e otimizados através da combinação entre a rochagem e a biofertilização.

Diante dos estudos aqui sumariados e apresentados, percebe-se a importância estratégica da difusão de técnicas alternativas para fertilização de solo, em especial dos solos tropicais, e constata-se, ainda, que a demanda por nutrientes poderia ser mais facilmente atendida empregando-se pó de rocha, em aplicação direta ao solo e como parte do manejo, combinado às técnicas de biofertilização para liberação de nutrientes desse insumo, conforme demonstrado nos estudos compilados na tabela 5, onde foram destacadas as evidências da atividade catalizadora dos microrganismos e o papel do biointemperismo na fertilização dos solos.

Segundo Jenkinson & Lamont (2005), também adentramos em um universo desconhecido ao ignorar as relações ecológicas e a presença fundamental da fauna edáfica. O universo microscópico corresponde a uma proporção de 3 até 10 vezes a quantidade de células existentes nos organismos vivos. Além disso, estudos indicam que esta proporção é, no mínimo, 3 vezes maior no solo, apresentando grupos de microrganismos diferentes envolvidos nos ciclos biogeoquímicos, para cada elemento químico que ocorre na tabela

periódica (Primavesi, 2018). Estudos microbiológicos ainda não alcançaram 5% deste universo de organismos que são os transformadores da

matéria orgânica e responsáveis pela produção da “receita perfeita” - forma química capaz de entrar na membrana plasmática e executar funções

**Tabela 3** - Principais temáticas que inviabilizam o manejo convencional e viabilizam o manejo agroecológico em solos tropicalizados.

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Tema</b>	<b>Parecer</b>
Kluthcouski et al.	2000	Baixa Produtividade	O uso continuado do plantio direto em regiões tropicais, com insuficiência de cobertura do solo e sucessivas adubações solúvel superficiais, pode resultar em alterações nos parâmetros do solo, como compactação e acúmulo de nutrientes na superfície, e na baixa expressão do potencial produtivo das culturas.
Soares	2010	Uso excessivo de fertilizantes químicos e impactados agrotóxicos	A análise do problema dos agrotóxicos mostrou que as políticas de produção agrícola no Brasil são mais pautadas na quantidade e não na qualidade dos alimentos, cujo foco é o ganho de produtividade sem precedentes.
Darolt	2001	Baixa qualidade	Aspecto do valor nutritivo e toxicológico dos alimentos provenientes da agricultura orgânica têm se mostrado superiores aos convencionais.
Costa & Silva	2012	Dependência externa	Como um grande produtor agrícola, o Brasil é também um grande consumidor de fertilizantes, atrás apenas de China, Índia e Estados Unidos. Porém, a produção interna de insumos para fertilizantes é insuficiente para atender ao consumo, e cerca de 60% dos fertilizantes utilizados provêm de importações. A alta dependência externa deixa o país vulnerável a flutuações de câmbio e preços e traz o risco de escassez de insumos básicos.
Inagaki et al.	2018	Durabilidade do alimento	A agricultura orgânica pode apresentar uma série de vantagens à pequena propriedade rural, pois fortalece a produção em pequena escala, permite a diversificação produtiva, gera engajamento dos membros da família, tem menor dependência de insumos externos, elimina o uso de agrotóxicos, reduz os custos de produção, conserva o solo e a produção tem maior valor comercial e durabilidade.
Da Silva et al.	2011	Sabor do alimento	Três marcas de alface hidropônica apresentaram maior teor de nitrato e menor concentração de sólidos solúveis e ácidos ascórbicos, enquanto a alface orgânica apresentou qualidade superior, com baixa concentração de nitrato e maior teor de ácido ascórbico.
Kluthcouski et al.	2000	Baixa Produtividade	O uso continuado do plantio direto em regiões tropicais, com insuficiência de cobertura do solo e sucessivas adubações solúvel superficiais, pode resultar em alterações nos parâmetros do solo, como compactação e acúmulo de nutrientes na superfície, e na baixa expressão do potencial produtivo das culturas.
Soares	2010	Uso excessivo de fertilizantes químicos e impactados agrotóxicos	A análise do problema dos agrotóxicos mostrou que as políticas de produção agrícola no Brasil são mais pautadas na quantidade e não na qualidade dos alimentos, cujo foco é o ganho de produtividade sem precedentes.
Darolt	2001	Baixa qualidade	Aspecto do valor nutritivo e toxicológico dos alimentos provenientes da agricultura orgânica têm se mostrado superiores aos convencionais.

biológicas, cumprindo sua função na base da cadeia ecológica, por meio da interação entre a nutrição e a célula no metabolismo biológico (Leite, 2009).

De acordo com Hensel (2003), a combinação das técnicas de remineralização com pó de rocha silicáticas e biofertilização, com microrganismos eficientes (microrganismos como: fungos, bactérias, leveduras, lactobacilos, trichodermas, actinomicetos, entre outros animais que compõem a vida no solo), associadas à cobertura no solo – serra-pilheira, são responsáveis por disponibilizar os nutrientes presentes nas estruturas dos minerais silicáticos que ocorrem nos solos, oriundos de suas respectivas rochas na forma de alimentos para a planta.

Além de proporcionar a ciclagem de matéria orgânica nos solos altamente intemperizados (Battisti & Santos, 2011). Cabe ainda destacar que o pó de rocha é um subproduto da mineração e seu uso, na rochagem, acaba por agregar valor a

esse resíduo.

Tal prática pode promover a redução de resíduos por meio da reciclagem, o que está em inteira sintonia com o ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, da Agenda 2030 da ONU.

Corroborando com essa ideia, o Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, juntamente com a EMBRAPA, através dos Fundos Setoriais do Agronegócio e Mineral, iniciaram em 2003, um programa de desenvolvimento tecnológico, criando a Rede Nacional de Pesquisa para o uso das rochas brasileiras (Martins et. al., 2008). Outras instituições, a exemplo do Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, para além de universidades brasileiras; com destaque para Universidade de Brasília (UnB), têm cooperado entre si com estudos, publicações e regulamentações para o desenvolvimento de novos insumos agrícolas derivados de minerais e rochas locais.

**Tabela 4** - Tabulação de estudos científicos evidenciando o potencial agromineral dos remineralizadores no Brasil.

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Título</b>	<b>Parecer</b>
Theodoro et al.	2006	Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes.	Os resultados de produção se mostraram acima do esperado em todas as Unidades Demonstrativas implantadas. Os agricultores têm se mostrado entusiasmados com uma nova tecnologia. Porém, mais do que resultados de produção, os agricultores ficaram animados com os custos potencialmente mais baixos e a disponibilidade para aquisição do pó de rocha.
Medeiros	2017	Uso de remineralizadores de solo para produção de palma forrageira no semiárido baiano	A utilização do remineralizador derivado das rochas calcossilicáticas hidrotermalizadas de Ipirá teve papel fundamental no aumento da produção das espécies de palma forrageira. Quando aliados ao composto orgânico, essa produção aumentou significativamente, se comparadas aos valores que vêm sendo obtidos na produção da região onde foi inserido o experimento.
Marques	2021	Eficiência do remineralizador em dois tipos de solo e manejos nos parâmetros biométricos e tecnológicos da soqueira de cana-de-açúcar	A presença do remineralizador pode aumentar os parâmetros altura de plantas, comprimento e número de entrenós, peso médio e número de colmos na soqueira de cana-de-açúcar.
De Pádua	2012	Rochagem como adubação complementar para culturas oleogêneas	As rochas fosforito de Campos Belos, GO; anfíbolito de Nazareno, MG; micaxisto de Brasília, DF e fonólito de Poços de Caldas, MG constituem boas alternativas para a substituição parcial de fontes convencionais de nutrientes, segundo uma estratégia de menor uso de fertilizantes de alta solubilidade.
Souza et al.	2017	Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solo obtido de resíduos de mineração.	O remineralizador avaliado apresentou viabilidade técnica como fonte de K, Ca e Mg, com aumento do pH e da CTC do solo, e no desenvolvimento das plantas de milho. Os índices de eficiência de uso do remineralizador foram compatíveis aos obtidos com a aplicação da fonte solúvel de K (cloreto de potássio).
Carvalho	2013	Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo	Os pós de rochas silicatadas são fontes de liberação lenta. Se por um lado tal fato é apontado como a principal limitação dos pós de rochas enquanto fonte de nutrientes, por outro, a rochagem representa vantagens potenciais, tais como: i) possibilidade de utilização de recursos localmente disponíveis e de aproveitamento de resíduos da indústria mineral; ii) menor gasto energético para obtenção e menor custo por unidade de nutriente; iii) disponibilidade de nutrientes mais lenta (controlada) e equilibrada diante de condições edafoclimáticas que podem proporcionar consideráveis perdas ou indisponibilização de nutrientes.
Carvalho	2012	Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico	A utilização de pós de rocha silicatadas, como parte das estratégias de manejo da fertilidade do solo, demonstrou-se promissora, uma vez que promoveu alterações desejáveis em características químicas do solo e na disponibilidade de nutrientes associados a baixos riscos de disponibilização expressiva de metais pesados.
Da Silva Souza et al.	2010	Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar ( <i>Saccharum officinarum</i> ) para a indústria de etanol(1).	Com base nos resultados de desenvolvimento fisiológico das plantas é possível afirmar que, para todos os parâmetros avaliados, o pó-de-rocha teve efeito igual ou superior ao KCl. Os resultados de produção dos respectivos cultivos e tratamentos permitem afirmar que os pós de rocha têm efeito como fonte de nutrientes para a cultura da cana-de-açúcar. Por fim, pode-se afirmar seguramente que o pó de rocha avaliado representa uma importante fonte alternativa de nutrientes para o cultivo da cana-de-açúcar na região central do Estado do Tocantins.
De Souza et al.	2017	Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo	A análise de variância revelou efeito significativo da interação F1 (remineralizador) × F2 (plantas de cobertura) para os atributos H + Al, SB, CTC e, da interação F1 × F3 (doses de vinhaça) para pH, H + Al e V. A vinhaça contribuiu para a alteração de minerais contidos em pó de basalto, proporcionando aumento do pH e da saturação por bases e diminuição da acidez potencial. Doses de pó de basalto e de vinhaça, associadas a milho e crotalaria cultivados em solo com fertilidade corrigida e adequada para o cultivo do feijoeiro, proporcionaram efeitos positivos nos valores de pH, acidez trocável e saturação por bases.
Alovisi et al.	2020	Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos	O pó de basalto proporcionou a máxima redução da acidez ativa, elevando o pH em água de 5,9 para 6,4, aos 90 dias da reação do pó de basalto no solo. O uso de pó de basalto no solo resulta em aumento significativo nos teores de cátions fundamentais ao desenvolvimento da planta, principalmente Ca e Mg, SB e V%, com o aumento das doses do pó, aos 90 dias da aplicação. O pó de basalto pode ser considerado como uma fonte alternativa viável de fertilizante e corretivo do solo, dependendo da composição da rocha, granulometria do material e condições do solo.

**Tabela 5** - Tabulação de estudos científicos evidenciando a atividade dos microrganismos na atuação catalizadora na disponibilização de nutrientes por meio do biointemperismo.

<b>Autores</b>	<b>Ano</b>	<b>Título</b>	<b>Parecer</b>
Silva et al.	2011	Biossolubilização de fonolito por microrganismos do solo solubilizadores de potássio	A acidificação do meio promovida pela estirpe mais eficiente (B30) aumentou a taxa de solubilização de K contido no mineral de rocha estudado, o fonolito. Houve correlação entre a diminuição do pH como aumento da taxa de solubilização de K para as estirpes estudadas. A estirpe B30 solubilizou 70% do total de K insolúvel na rocha e poderá ser usada para aumentar a disponibilidade de potássio em adubação alternativa de rochagem para suprimento de potássio.
Silva	2018	Aumento da produtividade e mudanças na microbiota do solo em cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de composto e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato	Verificou-se que o consórcio bacteriano inoculado, associado com a aplicação de composto, superou, no primeiro ano de cultivo, o manejo rotineiramente utilizado em cana-de-açúcar (adubação com superfosfato triplo).
Cara et al.	2012	Solubilização Biológica de Potássio	Para aumentar a solubilidade de potássio a partir dessas rochas, estão sendo estudados micro-organismos capazes de promover a decomposição de minerais, em parte devido à ação de ácidos orgânicos e inorgânicos produzidos pela atividade biológica. A partir desse conceito, muitos processos de biossolubilização de potássio in vitro a partir de pó de rocha vêm sendo estudados. A descoberta de uma fonte alternativa poria um fim na dependência externa.
De Andrade et al.	2011	Disponibilização de K de rochas silicáticas para plantas de soja inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)	Os resultados deste trabalho comprovam o efeito benéfico da presença de micorriza na absorção de nutrientes tanto na forma solúvel quanto na forma de rocha. Essa informação é importante para definir manejo de áreas agrícolas com maior possibilidade de efeitos positivos na disponibilização de K de fontes de solubilidade lenta
Gadd	2010	<i>Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation</i>	Todos os tipos de micróbios, incluindo procariotos e eucariotos e suas associações simbióticas entre si e "superiores organismos", desempenham uma diversidade notavelmente ampla de papéis geoativos na biosfera. Transformações microbianas de metais e minerais são uma parte vital dos processos naturais da biosfera. Aumentando nossa compreensão desta importante área de microbiologia e explorando-a em aplicações como biorremediação e outras áreas da biotecnologia irão claramente requerer uma abordagem multidisciplinar
Van Schöll et al.	2008	<i>Rock-eating mycorrhizas: their role in plant nutrition and biogeochemical cycles</i>	Os fungos EcM desempenham um papel importante no intemperismo na nutrição de cátions à base de plantas, e provavelmente também em podzolização e tolerância da planta ao Al. Apresenta imagens de microscopia demonstrando a atividade biológica solubilizando minerais de baixa solubilização.

Aliado a isso, após diversos estudos, o Congresso Nacional resolveu, por meio da Lei 12.890/2013 (Brasil, 2013) e da Instrução Normativa Nº 5/2016 MAPA (Brasil, 2016), publicada em 10 de março de 2016, estabelecer especificações e garantias por análises: químicas, mineralógicas, físico-químicas e agrônômicas – e autorizar o registro, comercialização e o uso de remineralizadores (Brasil, 2016).

Especificamente no Estado da Bahia, a CPRM, em parceria com a CODEVASF, tem trabalhado na prospecção de insumos minerais alternativos para a agricultura, destinados a remineralização de solos, com o objetivo de atender uma área de 142.321 km<sup>2</sup> de solos agricultáveis, correspondendo ao Projeto Baixio de Irecê, na região de Irecê e Jaguarari-BA (Blaskowski et

al., 2016).

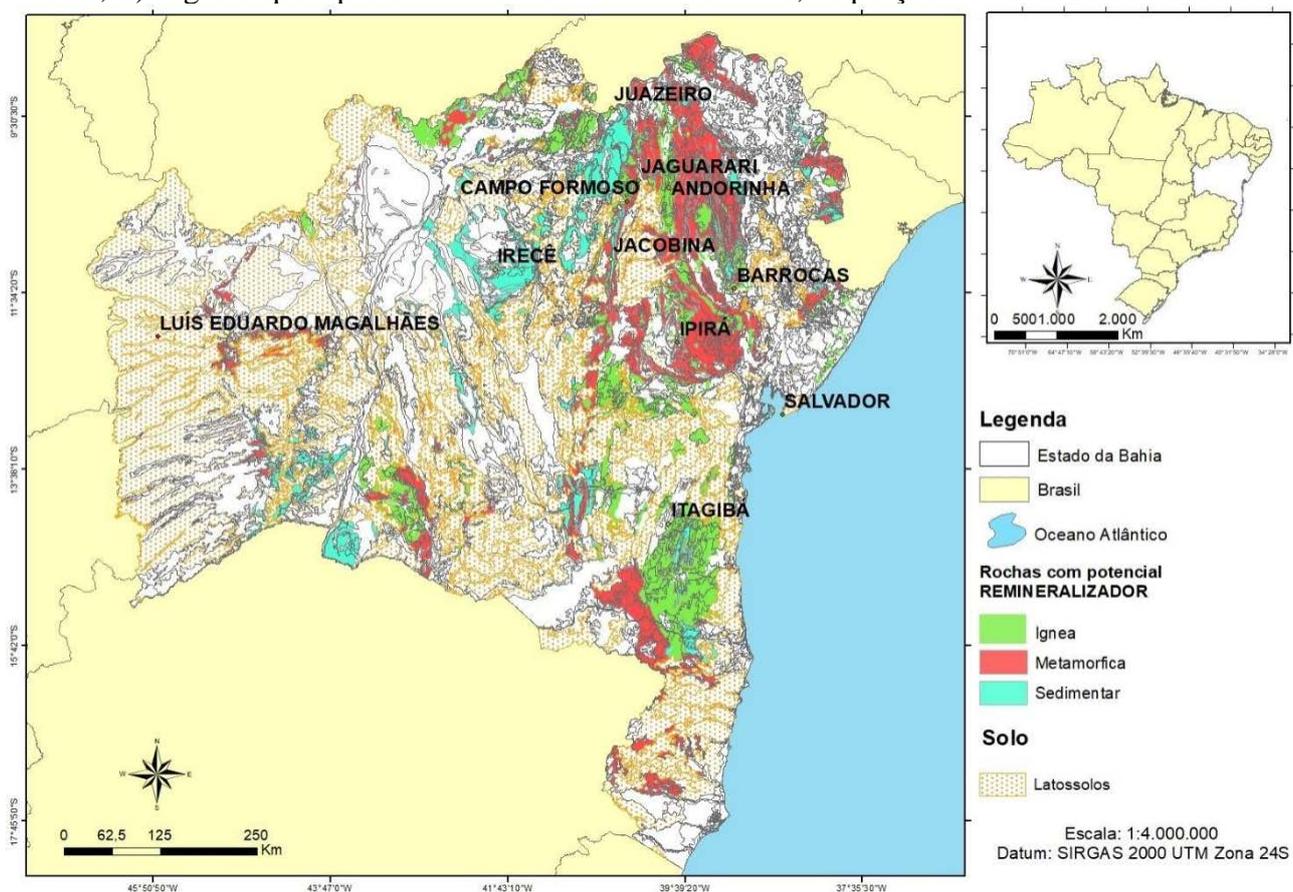
Mesmo diante do exposto, o Estado da Bahia ainda não aposta, o quanto poderia, na rochagem de rochas silicáticas. E, de acordo com Primavesi (2006), as escolas de agronomia continuam ensinando, quase que exclusivamente, os conceitos da agricultura convencional. No cenário baiano, de amplo potencial agromineral, de grande talento agrícola e ampla distribuição de Latossolos, parece urgente que essa temática seja cada vez mais difundida. Principalmente, no que se refere ao desenvolvimento de estudos interdisciplinares, considerando que o conhecimento geológico está se tornando, cada vez mais necessário nesta temática, tornando o profissional geólogo uma figura indispensável na oferta deste insumo (Martins et al., 2008).

## DISCUSSÕES, INTERPRETAÇÃO E RESULTADOS

Na figura 1 estão compiladas as áreas de ocorrência das rochas com potencial remineralizador no Estado da Bahia.

Conforme representado, observa-se que essas áreas correspondem a locais com as seguintes características: a) regiões onde ocorrem as rochas mais antigas desse Estado, correspondendo ao intervalo de tempo entre o Arqueano e o Neoproterozoico; b) regiões que apresentam rochas com

características de afinidade com o manto da Terra - rochas máficas e ultramáficas formadas por minerais ferromagnesianos; c) regiões com intrusões graníticas e rochas correlatas; d) locais de ocorrência de rochas metamórficas, tais como à região do cinturão Itabuna- Salvador-Curaçá e; e) terrenos com coberturas sedimentares intracratônicas, tais como as áreas de ocorrência do Supergrupo São Francisco, na porção central e Oeste do estado.



**Figura 1** - Mapa geológico do Estado da Bahia, com os municípios onde já ocorrem estudos de eficiência agrônômica, apresentando as rochas silicatadas multinutrientes, com potencial agromineral remineralizador, categorizadas por tipo litológico combinado aos Latossolos distribuídos no território.

Por outro lado, as áreas de ocorrência dos Latossolos, no território baiano, representam os locais de potencial demanda de remineralizadores no manejo do solo. Essa área também está representada na figura 1 e, segundo Schaefer et al. (2017), é mais expressiva do que o esperado, devido ao fato deste território, durante a maior parte da sua história evolutiva, ter permanecido em deriva continental em regiões intertropicais, experimentando expressiva atividade intempérica, resultando nos paleolatosolos e os latossolos atuais.

Atualmente, o mapeamento geológico fornece informações, que tornam possível estimar os nutrientes presentes nas rochas distribuídas na

superfície do planeta, assim como também já é sabida a maneira mais apropriada de serem utilizados esses recursos. Desta forma, reitera-se que é preferível planejar o gerenciamento das áreas com ofertas de remineralizadores para um manejo ecologicamente sustentável, e assim restaurar a fertilidade do solo. Ao invés de aumentar cada vez mais a dependência por fertilizantes químicos solúveis e pesticidas, vulnerabilizando a saúde de uma população em crescente aumento (Kamiyama et al., 2011).

### Características dos Latossolos

Nas regiões intertropicais, em geral, a radiação solar é intensa, contribuindo para temperaturas elevadas durante a maior parte do ano

(Juo, 2003). Ker (1997) destaca ainda que essas regiões apresentam elevados índices pluviométricos. Em virtude disso, há o favorecimento do processo do intemperismo, que promove a desagregação da rocha, sedimentação nas regiões de baixos topográficos e pedogênese mais acentuada em regiões tropicais, comparando-se às regiões temperadas e polares (Juo, 2003).

O processo de intemperização dos solos resulta em seu amadurecimento e na consequente evolução de suas argilas que, gradativamente, vão evoluindo de minerais primários 2:1, com alta capacidade de trocas catiônicas – CTC, para minerais secundários 1:1, que apresentam baixa capacidade de trocas catiônicas – CTC. Latossolos são solos profundos (> 1m), bem drenados, normalmente apresentam estruturas microgranulares, são pobres em nutrientes, ácidos, com baixa saturação por bases, distróficos/alumínicos, de coloração relativamente homogênea e com matizes avermelhadas e/ou amareladas (EMBRAPA, 2018).

Quando altamente intemperizados, os solos são comumente associados à laterita, apresentam-se ricos em óxidos secundários de ferro e/ou alumínio, pobres em bases e silicatos primários, podendo conter quantidades elevadas de quartzo e caulinita. Essas características de solo corroboram com a classificação de Latossolos, muito frequentes em regiões inseridas no contexto intertropical (EMBRAPA, 2018).

Conforme dados apresentados nas pesquisas de Batista et al. (2017), os custos envolvidos no transporte, envolvem distâncias de até 300 km entre a fonte do remineralizador e o empreendimento agrícola para sua viabilidade. Diante disso, foi aqui realizada uma análise espacial dos locais com ocorrência de rochas com potencial remineralizador e das áreas de ocorrência dos Latossolos no Estado da Bahia (Figura 1). Os resultados dessa análise denotam grande potencial para o emprego da rochagem. Os resultados de Batista et al. (2017) demonstram que as rochas com potencial remineralizador seriam capazes de suprir as regiões de ocorrência dos Latossolos com finalidade agrícola.

Cabe ainda ressaltar que os municípios destacados na figura 1 apresentam estudos de eficiência agrônômica do emprego de rochagem e biofertilização, corroborando com a viabilidade destas técnicas no manejo mais eficiente e sustentável dos Latossolos baianos.

## **Técnica da rochagem utilizando rochas silicáticas como remineralizador em solos tropicais**

Segundo Hensel (2003), a “farinha de pedra” é a única forma equilibrada de devolver ao solo exaurido a potência e diversidade nutricional para produzir alimentos saudáveis – “nossos pães”. O registro de produtos classificados como remineralizadores de solo junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) só é possível após a realização de ensaios agrônômicos, produzidos por instituições oficiais e credenciadas, declarando que o pó de rocha atende todas as garantias para utilização nos solos como remineralizadores, segundo a Instrução Normativa 05/2016. A tabela periódica é composta por 118 elementos químicos. Destes, 92 elementos químicos ocorrem de forma natural e estão presentes nas rochas, de forma equilibrada, quando não os encontramos em concentrações que caracteriza jazida; para que o tempo, clima, ambiente e o intemperismo físico, químico e biológico as transformem em solo.

Nos estudos de Azevedo-Júnior (2015), o manejo convencional considera apenas onze desses elementos químicos. Basicamente, os macros e micronutrientes são analisados nos testes de eficiência agrônômica para o manejo convencional e estão presentes nos fertilizantes químicos, desconsiderando a importância das variadas funções bioquímicas, que os demais elementos desempenham nos complexos processos do metabolismo biológico responsáveis por funções vitais.

A Lei 12.890/2013 estabelece que remineralizador de solo é todo material de origem mineral, que tenha sofrido apenas processos mecânicos de diminuição de partículas (britagem, moagem e seleção por peneira) e, quando adicionado ao solo, altera positivamente os parâmetros de fertilidade, melhorando as propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo.

Quanto às especificações de natureza física, a Instrução Normativa 05/2016 define que 80% do material destinado à finalidade de remineralizador deverá passar na peneira de 2mm. No que se refere às especificações de natureza química, esta mesma instrução normativa estabelece os teores mínimos para macro e micronutrientes, assim como do conteúdo inerte (SiO<sub>2</sub> – sílica livre), da Soma de Bases (MgO, K<sub>2</sub>O e CaO), Potássio (K<sub>2</sub>O), além dos teores limitantes de elementos potencialmente tóxicos.

Para Marchi et al. (2020), estas características somadas às variadas formas de empacotamento mineral e suas diferentes características de energia livre de formação, conferem aos remineralizadores de solo o potencial de aumentar a eficiência do uso de nutrientes, diminuir as perdas por lixiviação, estimular a atividade biológica, melhorar o enraizamento das plantas cultivadas, favorecer a estruturação do solo e promover a preservação dos corpos hídricos. Cabe destacar que esse último aspecto contribui para o incremento na qualidade ambiental de corpos hídricos, o que está preconizado no ODS 6 - Água Potável e Saneamento e reitera o alinhamento do emprego da rochagem com a implementação da Agenda 2030.

É de amplo conhecimento que quanto mais evoluído e antigo é o solo, menos ele irá preservar minerais nutrientes importantes à agricultura. Desta forma, pode-se concluir que a utilização de remineralizadores em solos tropicais, consiste em uma alternativa muito viável para o setor de produção agrícola, além de gerar impactos positivos socioambientais.

#### **Técnica da biofertilização como catalisadora na disponibilização dos nutrientes à planta**

Foi a partir do ano de 1986, por meio dos estudos de Jenny (1980), que se tornou mais amplamente conhecida a importância da vida nos solos e dos microrganismos, como base da cadeia ecológica. É nesse contexto que Hans Jenny, consagrado como o pai da Ciência dos Solos, ressalta como atributos para definição de solo: a presença de organismos, matéria orgânica (viva ou morta), material mineral (argila, silte, areia, rocha) (Jenny, 2012).

De acordo com Ingham & Slaughter (2004), a planta produz açúcares e glicídios, por meio da fotossíntese e a maior parte desta produção de energia é conduzida para o sistema radicular – as raízes das plantas. As plantas também liberam exsudatos em forma de proteínas e carboidratos. Portanto, a rizosfera é a região do solo com maior número de indivíduos. Desta forma, essa região precisa estar habitada por organismos, preferencialmente simbióticos, que funcionam como barreira de proteção contra organismos patógenos e são fornecedores de nutrientes, quando cumprem seu papel na cadeia trófica.

Segundo Primavesi (2002), quando não ocorre a biologia no solo, este substrato é considerado “terra”, ou seja: um substrato inerte. O solo é um organismo vivo, formado por horizontes, derivado da interação da rocha com o ambiente, resultado

do intemperismo com os fatores de formação do solo, a saber: clima, organismos, relevo, material de origem/rocha e tempo de formação (Primavesi, 2002). Em suma, podemos assumir o solo como um sistema, constituído dos subsistemas: litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera.

Em seus estudos, Ingham & Slaughter (op cit) ainda demonstra que a biomassa complexada em forma de organismos que habitam os solos tropicais é o motivo de torná-los produtivos, principalmente, os primeiros 15 cm do solo. Esses organismos, para além de proteger contra pragas e doenças, fornecem nutrientes para o desenvolvimento das plantas, são também capazes de produzir mucilagem (substância viscosa que funciona como cola no solo), que permite a formação da estruturação dos solos por meio dos agregados. Nos agregados encontramos os poros (macroporos e microporos), que são espaços e condições essenciais para um solo saudável, onde ocorre: aeração; penetração e retenção da água, desenvolvimento de raízes, retenção de nutrientes e circulação da vida edáfica.

A agricultura sustentável está estruturada no entendimento das complexas interações que envolvem os conceitos de ecologia. Nesta busca são considerados os mecanismos que a natureza utiliza para manter o ciclo ecológico em sua perfeita harmonia em cada bioma. Com isso, é tentado oferecer e/ou simular circunstâncias mais próximas ao ambiente original para que alcancemos a melhor performance para determinada cultura. Trata-se de uma técnica que visa a conexão rocha – solo – planta – alimento – saúde, por meio do reequilíbrio entre os fatores biológicos, químicos, físicos, restabelecendo a qualidade de vida (Primavesi, 2002).

Do ponto de vista econômico, a rochagem é capaz de promover a diminuição progressiva dos custos de produção – com o emprego de insumos alternativos. Trata-se de uma transformação significativa para o setor agrícola, cada vez mais em foco na economia mundial. As técnicas de remineralização ainda traz o aumento na imunidade dos solos contra doenças e erradicação de pragas no plantio, devolvendo o equilíbrio e possibilitando uma prática de manejo sustentável que produz alimentos saudáveis/orgânicos.

A combinação das técnicas supramencionadas no Estado é capaz de promover a autossuficiência dos produtores rurais, pois estes não ficariam reféns dos insumos químicos, que possuem preços elevados, são facilmente volatilizados e lixiviados

em solos tropicais muito intemperizados, apresentando demandas cada vez mais volumosas, e que, comprometem a saúde da população que produz e que consome estes alimentos.

Avanços na implementação dessas práticas poderão garantir sistemas sustentáveis e resilientes de produção de alimentos, com aumento na produtividade e na qualidade ambiental dos ecossistemas de produção, estando assim em sintonia com o ODS 2 - Fome Zero e Agricultura

Sustentável e com a implementação da Agenda 2030 da ONU.

Lynch (2009) salienta que se o desejado é ter cultivos saudáveis, que tanto homens quanto os animais, que se alimentam desses cultivos, satisfaçam suas necessidades de nutrição para sustentação de seus corpos. Em paralelo, Hensel (2003) já alertava que outros elementos químicos também são necessidade imperativa, e só os encontramos nas matrizes - rochas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A tecnologia da rochagem para remineralização de solos, encontra-se na interface do conhecimento entre a geologia e a agronomia.

Como uma técnica utilizada na agricultura, aprovada e regularizada, por meio da legislação que estabelece as normas de uso, ainda é pouco difundida entre agrônomos e geólogos, que se concentram na prática da rochagem de rochas monominerálicas, como fosfatos e calcários. Todavia, o uso de remineralizadores é uma alternativa viável para solucionar tanto problemas relacionados aos passivos da mineração, quanto a fertilidade e resiliência de solos agricultáveis.

Associada à técnica da rochagem, a biofertilização é uma prática que funciona como catalisador no processo de intemperismo – biointemperismo. A baixa solubilidade das rochas silicáticas, e conseqüente baixa capacidade de disponibilização de seus nutrientes, sempre foi um fator que dificultou a sua utilização como insumo na agricultura. Por outro lado, a biofertilização com microrganismos favorece a disponibilização dos nutrientes presos nas estruturas cristalinas das rochas silicáticas, por meio de processos biológicos, tornando-os biodisponíveis.

A combinação das técnicas de rochagem e

biofertilização favorece a produção de alimentos com os nutrientes fundamentais para o metabolismo biológico, que não existem mais nestes tipos solos e não é repostos na prática do manejo convencional, considerando que esse tipo de manejo utiliza basicamente NPK e alguns outros poucos elementos.

No contexto de acelerado crescimento populacional, em um país dependente de insumos importados, faz-se necessário a utilização de técnicas de baixo custo para produção agrícola, que promova a manutenção da fertilidade e garanta a biodiversidade do solo de forma sustentável. Tratam-se de técnicas que visam a conexão rocha – solo – planta – alimento – saúde, por meio do reequilíbrio entre os fatores biológicos, químicos, físicos, restabelecendo a qualidade de vida.

Conforme dados aqui compilados e discutidos, o emprego e a difusão dessas técnicas é um dos caminhos possíveis para a implementação da Agenda 2030, tendo em consideração que, de maneira objetiva, foram aqui apontados como essas práticas atendem aos ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável, 6 - Água Potável e Saneamento e 12 - Consumo e Produção Responsáveis.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), por meio de bolsa de estudos (processo: 133140/2020-2). Ao Programa de Pós-Graduação de Geologia da UFBA pela infraestrutura.

## REFERÊNCIAS

- AGROW. Mixed results for top 20 companies. *Agribusiness Intelligence / Informa*, n. 621, p. 2, ago 2011.
- AHRENS, E. **A influência de fertilizantes orgânicos e químicos sobre o comportamento de Azotobacter, e a possibilidade de sua determinação quantitativa.** Giessen. 1961. Dissertação (Mestrado), Univ. Giessen.
- ALOVISI, A.M.T.; TAQUES, M.M.; ALOVISI, A.A.; TOKURA, L.K.; SILVA, J.A.M.; CASSOL, C.J. Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 918-932, 2020.
- ALVES, S.P.L. **Marketing verde e os desafios na preservação do Cerrado.** Goiânia, 2014. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Departamento de Ciências Exatas e da Terra, Pontifícia Universidade Católica de Goiás.
- ASSIS, R.L. & ROMEIRO, A.R. Agroecologia e agricultura orgânica: controvérsias e tendências. *Desenvolvimento e Meio ambiente*, n. 6, p.67-80, 2002.
- AZEVEDO-JUNIOR, R.R. **Teores foliares de macro e micronutrientes, atributos químicos e microbiológicos do solo em manejos orgânico e convencional de coffea arabica L.** Vila Velha, 2015. 77 p. Tese (Doutorado em Ecologia de Ecossistemas) – Universidade Vila Velha.
- BATISTA, N.T.F.; RAGAGNIN, V.A.; HACK, E.; GORGEN,

- A. L.; MARTINS, E.S. Protocolo para avaliação da eficiência agronômica de remineralizadores de solo? Uma proposta da Embrapa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3, 2016, Pelotas. **Anais...** Brasília: Embrapa Cerrados, 2017, p. 219-237.
- BATTISTI, M. B. & SANTOS, M.G. **Avaliação da eficiência da aplicação de microrganismos eficientes EM•1® em cultivo de alface**. Curitiba, 2011. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Campus Medianeira, Medianeira, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- BERGMANN, M. Remineralizadores no Brasil: o trabalho da CPRM. In: Encontro Sul-Mato- Grossense de Mineração, 1., 2017, Campo Grande. **Trabalhos apresentados...** Campo Grande: DNPM, 2017.
- BLASKOWSKI, A.E.; BERGMANN, M.; ABRAM, M.B.; SARDOU FILHO, R.; CAVALCANTE, O.A. Prospecção de agrominerais na região de Irecê e Jaguarari-Bahia: uma proposta de metodologia para mapeamento agrogeológico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48., 2016, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: SBG, 2016. BRASIL. Constituição (1980). Lei nº 12.890 de 10 de dezembro de 2013. Capítulo VII – Lei dos Fertilizantes, Art. 1-9. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112890.htm). Acesso em: 29/08/2020.
- BRASIL. Ministério de Ciência e Tecnologia. Centro de Tecnologia Mineral. **Agrominerais para o Brasil**. Editores: José Farias de Oliveira; Francisco Rego Chaves Fernandes; Zuleica C. Castilhos. Rio de Janeiro: CETEM; MCT, 2010.
- BUENO, C. Crise impulsionou criação de modelo sustentável na agricultura de Cuba. **Ciência e Cultura**, v. 67, n. 2, p. 14-16, 2015.
- CARA, D.V.C.; ROCHA, D.L.; CUNHA, C.D.; RIZZO, A.C.L.; SÉRVULO, E.F.C. **Solubilização biológica de potássio**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, Série Tecnologia Ambiental, 66, 42p. 2012.
- CARVALHO, A.M.X. **Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico**. Viçosa, 2012. 129 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.
- CARVALHO, A.M.X. Rochagem: um novo desafio para o manejo sustentável da fertilidade do solo. In: SILVA, J. C.; SILVA, A. A. S.; ASSIS, R. T. (Org.). **Sustentabilidade produtiva e inovação no campo**. Uberlândia: Composer, 117-132p. 2013.
- COSTA, L.M. & SILVA, M.F.O. A indústria química e o setor de fertilizantes. 2012. In: **BNDES 60 anos: perspectivas setoriais**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. p. 12-60.
- DA SILVA SOUZA, F.N.; DE SANTANA, A.P.; ALVES, J.M. Uso da rochagem como fonte alternativa de nutrientes na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) para a indústria de etanol. **Planta**, v. 17, p. 12, 2010.
- DA SILVA, E.M.N.C.P.; FERREIRA, R.L.F.; ARAÚJO NETO, S.E.; TAVELLA, L.B.; SOLINO A.J.S. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura brasileira**, v. 29, p. 242-245, 2011.
- DA SILVEIRA TOSCANI, R.G. & CAMPOS, J.E.G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, v. 36, n. 2, p. 259-274, 2017.
- DAROLT, M.R. A qualidade nutricional do alimento orgânico é superior ao convencional? Portal Planeta Orgânico, 2001.
- DE ANDRADE, L.R.M. FALEIRO, A.S.G.; SANTOS SOBRINHO, D.A.; NASCIMENTO, M.T. DO; SOUZA, A.L. Disponibilização de K de rochas silicáticas para plantas de soja inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares (FMA). **Boletim de Desenvolvimento e Pesquisa, Embrapa Cerrados**, n. 303, 21 p. 2011.
- DE PÁDUA, E.J. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. Lavras, 2012, 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Lavras.
- DE SOUZA, M.D.B.; FONTANETTI, A.; ASSAD, M.L.RCL. Efeito de remineralizador, vinhaça e plantas de cobertura nos atributos químicos do solo. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 5, n. 1, p. 1-7, 2017.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA SOLOS, 5ª ed., 356 p., 2018.
- GADD, G.M. Metais, minerais e micróbios: geomicrobiologia e biorremediação. **Microbiology**, v. 156, n. 3, p. 609-643, 2010.
- HENSEL, J. **Pães de Pedra**. Traduzido do original: *Brot aus Steinen, durch mineralische Dúngung der felder* -1898- por: Landgraf, H.; Riveira, J. R. & Pinheiro, J. Salles Editora, Canoas/RS – Brasil. 2003.
- IBGE. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil**. Rio de Janeiro, 2018. Mapa, escala 1:250.000.
- INAGAKI, M.N.; JUNQUEIRA, C.P.; BELLON, P.P. Desafios da produção de soja orgânica como determinante à implantação de seu cultivo para fins comerciais na região oeste do Paraná. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 682-699, 2018.
- INGHAM, E.R. & SLAUGHTER, M.D. Teia alimentar do solo e compostos como ecossistemas vivos. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOILACE EM ECO-BIOLOGIA DO SOLO E COMPOSTO. Leão, Espanha: **Anais...**Leão: :2004, p. 127-139.
- JENKINSON, H.F. & LAMONT, R.J. Oral microbial communities in sickness and in health. **Trends Microbiol.**, v. 13, n. 12, p. 589-595, 2005.
- JENNY, H. **The soil resource: origin and behavior**. New York: Springer-Verlag. 390 p., 1980.
- JENNY, Hans. **O recurso solo: origem e comportamento**. Springer Science & Business Media, 2012.
- JUO, A.S.R. & FRANZLUEBBERS, K. **Tropical soils: properties and management for sustainable agriculture**. New York: Oxford University Press, 290 p. 2003.
- KAMIYAMA, A.; MARIA, I.C.; SOUZA, D.C.C.; SILVEIRA, A.P.D. Percepção ambiental dos produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais. **Bragantia, Campinas**, v.70, n.1, p.176-184. 2011.
- KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, v. 5, n. 1, p. 17-40. 1997.
- KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C.M.; FERRARO, L.A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 97-104, 2000.
- KREUZ, C.L.; LANZER, E.A.; PARIS, Q. Funções de produção Von Liebig com rendimentos decrescentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 95-106, 1995.
- LACERDA, L.D.; SOUZA, C.M.M.; PESTANA, M.H.D. Trace metals geochemical associations in sediments of a non contaminated estuary. **Ciência e Cultura**, 41(3): 301-304, 1989.
- LEITE, M.V. **Fungos Filamentosos do Lodo de Esgoto: Impacto na Microbiota Fúngica e Potencial Enzimático**. Recife, 2009. 65p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) – Universidade Católica de Pernambuco.
- LIMA, A.J.P. & CARMO, M.S. Agricultura sustentável e a conversão agroecológica. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v.4, n.7, p.47-72. 2006.
- LONDRES, F. **Agrotóxicos no Brasil: um guia para ação em defesa da vida**. Rio de Janeiro: AS- PTA – Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, 190 p., 2011.
- LOPES, Alfredo Scheide; GUILHERME, Luiz Roberto Guimarães. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. **Fertilidade do solo**, p. 2-64, 2007.
- LYNCH, D. Environmental impacts of organic agriculture: A Canadian perspective. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 89, p.621-628, 2009.
- MARCHI, G.; GUELFU-JUACI, D.R.; MALAQUIAS, J.V.; GUILHERME, L.R.G.; SPEHAR, C.R.; MARTINS, E.S.

- Solubilidade e disponibilidade de micronutrientes extraídos de agrominerais de silicato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, p. 1-12. 2020.
- MARQUES, E.P. **Fontes alternativas de potássio para soqueira da cana-de-açúcar**. Goiânia, 2021. 73 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás.
- MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C. G.; RESENDE, A. V.; MATOS, M. S. Agrominerais-Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura." IN: **Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, p. 205-221. 2008.
- MEDEIROS, F.P. **Uso dos remineralizadores associado a policultivos para produção da palma forrageira no semiárido baiano**. Planaltina, 2017. 110 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) - Universidade de Brasília.
- MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo: Editora Polígono - USP, 459 p. 1972.
- NEVES, M.C.P.; ALMEIRA, D.L.; DE-POLLI, H.; GUERRA, J.G.M.; RIBEIRO, R.L.D. **Agricultura orgânica: uma estratégia para o desenvolvimento de sistemas agrícolas sustentáveis**. Seropédica: Editora da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 98p., 2004.
- ORMOND, J.G.P. PAULA, S.R.L.; FAVERET FILHO, P.S.C.; ROCHA, L.T.M. Agricultura orgânica: quando o passado é futuro. 2002. **BNDES Setorial**, n. 15, p. 3-34, 2002.
- PELAEZ, V.; TERRA, F.H.B.; DA SILVA, L.R. A regulamentação dos agrotóxicos no Brasil: entre o poder de mercado e a defesa da saúde e do meio ambiente. **Revista de Economia**, v. 36, n. 1, p. 27-48. 2010.
- PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas: nutrição e produção vegetal**. São Paulo: Expressão Popular, 608 p., 2018.
- PRIMAVESI, A. **Cartilha do solo**. São Paulo: Fundação Mokiti Okada, p. 177, 2006.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Editora Nobel, 549 p., 2002.
- RESENDE, M. & KER, J.C. Pedologia e interações geomédicas. In: Seminário sobre interações geomédicas, 2, 1996, Areia. **Anais...** Areia: UFPB, 1996.
- ROSSET, J.S.; COELHO, G.F.; GRECO, M.; STREY, L.; GONÇALVES JUNIOR, A.C. Agricultura convencional versus sistemas agroecológicos: modelos, impactos, avaliação da qualidade e perspectivas. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 13, n. 2, p. 80-94, 2014. <https://doi.org/10.18188/sap.v13i2.7351>
- SCHAEFER, C. E; CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F; TORRADO, P. V. **Pedologia - Solos de Biomas Brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 597 p., 2017.
- SILVA, A.M.M. **Aumento da produtividade e mudanças na microbiota do solo em cultivo de cana-de-açúcar com aplicação de composto e inoculação de bactérias solubilizadoras de fosfato**. Piracicaba: 72 p., 2018. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.
- SILVA, U.C.; GOMES, E.A.; OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; DIAS, F.E.S.; FRADE, Y.S.; MARRIEL, Biossolubilização de fonólito por microrganismos do solo solubilizadores de potássio. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 33, 2011. Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011.
- SOARES, W.L. **Uso dos agrotóxicos e seus impactos à saúde e ao ambiente: uma avaliação integrada entre a economia, a saúde pública, a ecologia e a agricultura**. Rio de Janeiro: 150 p., 2010. Tese (Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ).
- SOUZA, F.N.S.; OLIVEIRA, C.G.; MARTINS, E.S.; ALVES, J.M. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Agri-Environmental Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1-14, 2017.
- THEODORO, S.M.C.H. **LEONARDOS, O.H.; ROCHA, E.L.; REGO, K.G.** Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. **Espaço e Geografia** (UnB), v. 9, n.2, p. 263-292, 2006.
- VAN SCHÖLL, L.; KUYPER, T.W.; SMITS, M.M.; LANDEWEERT, R.; HOFFLAND, E.; VAN BREEMEN, N. Rock-eating mycorrhizas: their role in plant nutrition and biogeochemical cycles **Plant and Soil**, v. 303, n. 1, pág. 35-47, 2008.
- YAMA N. Trace Elements and Human Health. **Beijing: Geological Publishing House**, p. 124-147. 1987.

*Submetido em 7 de abril de 2022*

*Aceito para publicação em 25 de novembro de 2022*