

Artigo de Revisão

Biodiversidade e a revitalização dos solos – da ação microbiológica à adição de nutrientes para remineralização

Biodiversity and soil revitalization – from microbiological action to the adding of nutrients for remineralization

Juliana Gabriela Alves de Oliveira¹ , Hélio Souza dos Reis¹ ,
Jairton Fraga Araújo^{II} , Luciano Sérgio Ventin Bomfim^{II} ,
Anna Christina Freire Barbosa^{II} 

^IUniversidade do Estado da Bahia, Senhor do Bonfim, BA, Brasil

^{II}Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, BA, Brasil

RESUMO

A agricultura moderna depende fortemente de fertilizantes químicos solúveis, que, além de causarem impactos ambientais negativos, promovem a dependência dos agricultores por insumos externos. Este estudo teve como objetivo investigar alternativas sustentáveis que complementem ou reduzam o uso de adubação sintética. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática de literatura, abrangendo publicações dos últimos dez anos nas bases SciELO, CAPES e Google Scholar. Foram selecionados 15 artigos que analisaram a eficácia dessas práticas na melhoria da fertilidade do solo e na promoção da sustentabilidade dos agroecossistemas. Os resultados indicam que práticas sustentáveis, como o uso de adubos orgânicos e biofertilizantes, melhoram a estrutura do solo e aumentam a disponibilidade de nutrientes, enquanto a remineralização por rochagem contribui para a liberação gradual de minerais essenciais. Conclui-se que essas alternativas proporcionam melhorias significativas na produtividade agrícola, ao mesmo tempo em que reduzem a dependência de insumos químicos. No entanto, mais estudos são necessários para ampliar a aplicação dessas práticas em larga escala e em diferentes tipos de solo.

Palavras-chave: Agricultura sustentável; Adubação sintética; Fertilidade do solo

ABSTRACT

Modern agriculture relies heavily on soluble chemical fertilizers, which, in addition to causing negative environmental impacts, promote farmers' dependence on external inputs. This study aimed to investigate sustainable alternatives that complement or reduce the use of synthetic fertilizers. The methodology consisted of a systematic literature review, covering publications from the last ten years in the SciELO, CAPES and Google Scholar databases. Fifteen articles were selected that analyzed the effectiveness of these practices in improving soil fertility and promoting the sustainability of agroecosystems. The results indicate that sustainable practices, such as the use of organic fertilizers and biofertilizers, improve soil structure and increase nutrient availability, while remineralization by rockfill contributes to the gradual release of essential minerals. It is concluded that these alternatives provide significant improvements in agricultural productivity, while reducing dependence on chemical inputs. However, further studies are needed to expand the application of these practices on a large scale and in different soil types.

Keywords: Sustainable agriculture; Synthetic fertilization; Soil fertility

1 INTRODUÇÃO

A partir do século XX estabeleceram-se práticas de manejo agrícola baseadas em maquinários, utilização de agrotóxicos, fertilizantes químicos e pesticidas, aliados ao uso de sementes geneticamente modificadas. Esses fatores trouxeram um estímulo à agricultura, aumentando a segurança alimentar e a produtividade, conseqüentemente, ao aumento de empresas dedicadas à produção e comercialização de insumos agrícolas. Essas inovações culminaram na "Revolução Verde", favorecendo uma maior segurança alimentar para a população em crescimento ascendente.

Na agricultura moderna, a forma de fertilização mais frequente ocorre por meio de fontes industrializadas de nutrientes que são, essencialmente, fertilizantes solúveis como o NPK (composto formado por distintas concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio), além de outros micronutrientes inerentes para cada classe solo e cultura (Toscani; Campos, 2017). Esses fertilizantes são facilmente lixiviados, criando dependência de aquisição deste produto por parte do produtor, a cada novo ciclo de plantio, e do solo em necessitar dos nutrientes disponibilizados pelos adubos químicos (Brito *et al.*, 2019).

A Revolução Verde se expandiu de forma exorbitante na utilização de fertilizantes químicos (Liu *et al.*, 2020). Diante desse cenário, nota-se que a agricultura foi uma das atividades humanas que mais contribui para a crescente liberação de poluentes pelo uso excessivo de agroquímicos nocivos ao homem e a todo o meio ambiente (Prakash; Arora, 2019). Avanços em gerenciamento de dados e soluções robóticas estão evoluindo a agricultura, maximizando a produtividade e a sustentabilidade, ao mesmo tempo em que reduz o uso indevido de recursos e a poluição ambiental (Sáiz-Rubio; Rovira-Más, 2020).

A intensificação agrícola moderna, impulsionada pelo uso massivo de fertilizantes químicos, como NPK, trouxe benefícios como o aumento da produtividade e a segurança alimentar (Toscani; Campos, 2017). No entanto, o uso prolongado desses insumos tem gerado efeitos adversos, como a erosão do solo, a lixiviação de nutrientes e a poluição ambiental. Diante desse cenário, práticas sustentáveis como a adubação orgânica, o uso de microrganismos funcionais e a rochagem surgem como alternativas promissoras para mitigar esses problemas (Brito *et al.*, 2019).

A adubação orgânica, embora tradicionalmente usada, tem sido revisitada em diversos estudos por sua capacidade de melhorar a estrutura e fertilidade do solo de maneira gradual (Almeida *et al.*, 2020). Por outro lado, os microrganismos funcionais desempenham papéis essenciais na ciclagem de nutrientes, promovendo o crescimento vegetal e a saúde do solo (Marinari *et al.*, 2013; Escalas *et al.*, 2019). Já a rochagem, uma prática de remineralização que utiliza pó de rochas, tem mostrado efeitos promissores na liberação de nutrientes a longo prazo e na redução da dependência de fertilizantes químicos (Theodoro *et al.*, 2012; Alovise *et al.*, 2020).

A prática da fertilização orgânica, que envolve o aproveitamento de resíduos provenientes da própria propriedade rural ou de áreas próximas, é uma abordagem comum na condução das lavouras de pequenos produtores rurais (Severino *et al.*, 2006). Conforme destacado por Almeida *et al.* (2020), a presença de matéria orgânica no solo resulta na melhoria de seus atributos físico-químicos e biológicos. Isso se

reflete na estabilização da estrutura do solo, no equilíbrio das relações hídricas, no aumento da fertilidade do solo e no fornecimento de nutrientes essenciais para as plantas.

Acrescente demanda por alimentos produzidos de forma sustentável, com menor impacto ao meio ambiente, coloca desafios importantes para a agricultura moderna. Diante disso, este estudo teve como objetivo investigar alternativas sustentáveis que complementem ou reduzam o uso de adubação sintética, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas agrícolas mais ecológicos. Ao identificar e analisar essas alternativas, espera-se fornecer uma visão clara sobre suas potencialidades na melhoria da sustentabilidade dos agroecossistemas, promovendo a conservação dos recursos naturais e a redução da dependência de insumos químicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo teve como objetivo investigar alternativas sustentáveis que complementem ou reduzam o uso de adubação sintética. A crescente demanda por alimentos, associada aos impactos ambientais do uso intensivo de fertilizantes químicos, tem impulsionado a busca por soluções que promovam uma agricultura mais ecológica e sustentável. Esta revisão pretende preencher essas lacunas, focando especificamente em práticas que reduzam a dependência de adubos sintéticos.

O trabalho baseia-se em uma revisão sistemática de literatura, com abordagem qualitativa, que envolve a análise de evidências científicas consistentes e baseadas em critérios pré-determinados. A revisão foi fundamentada em trabalhos indexados nas bases SciELO (Scientific Electronic Library Online), CAPES (Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e Google Scholar, abrangendo publicações nos idiomas português, inglês e espanhol, publicadas entre 2014 e 2022.

As buscas foram conduzidas utilizando termos de indexação como “alternativas à adubação sintética”, “fertilizantes ecológicos”, “práticas sustentáveis”, “adubação

orgânica” e “eficiência dos fertilizantes”. Operadores booleanos como *AND* e *OR* foram utilizados para refinar a busca e obter resultados mais específicos, focando em práticas que complementam ou reduzem o uso de adubação sintética.

Os critérios de inclusão envolveram: (I) artigos revisados por pares que tratassem diretamente das alternativas sustentáveis para a adubação sintética; (II) estudos que analisassem os efeitos dessas práticas sobre a fertilidade do solo e a produtividade agrícola; (III) pesquisas que focassem em indicadores de sustentabilidade e conservação dos recursos naturais. Foram excluídos artigos focados exclusivamente no uso de adubos sintéticos.

No total, 15 artigos foram selecionados e analisados com base nos dados quantitativos e qualitativos apresentados sobre as práticas agrícolas investigadas. Cada artigo foi revisado quanto à sua relevância, metodologia e resultados, e foi realizada uma análise crítica sobre a replicabilidade das práticas em diferentes contextos agrícolas. Esse processo foi essencial para garantir que os resultados pudessem ser aplicados de forma geral, especialmente no contexto de agricultura sustentável.

Essa metodologia permitiu investigar de maneira abrangente como alternativas sustentáveis podem reduzir a dependência de adubos sintéticos, contribuindo para a criação de agroecossistemas mais resilientes e ambientalmente equilibrados. Para futuras pesquisas, recomenda-se explorar o impacto dessas práticas em diversas condições climáticas e de solo, com o objetivo de expandir sua aplicabilidade em larga escala.

3 DESENVOLVIMENTO

Foram encontrados 73 artigos científicos, 35 em português, 15 em inglês e 23 em espanhol, e deste total, apenas 15 foram selecionados e analisados para a fundamentação deste trabalho (quadro 1). A seleção dos artigos teve como base entender que a qualidade do solo pode influenciar não só na fertilidade, mas também na biodiversidade de organismos vivos presentes nele, pois o mesmo é um corpo vivo.

A comunicação entre os agentes químicos, físicos e biológicos regulam em grande parte as condições requeridas pela planta com relação à fertilidade do solo (Pimentel *et al.*, 2006).

Quadro 1 – Lista dos artigos selecionados para a revisão de literatura

Título	Referência
Estado nutricional e produção da pimenteira com uso de biofertilizantes líquidos	Oliveira <i>et al.</i> (2014)
Produtividade e qualidade de frutos do meloeiro em função de tipos e doses de biofertilizantes	Santos <i>et al.</i> (2014)
Incubação do verdete com diferentes fontes de ácidos para disponibilização de potássio, cálcio, magnésio do solo	Silva; Lana (2015)
Uso de pó de rocha, termofosfato e adubo orgânico na produção de hortaliças	Livi; Castamann (2016)
Pragas e dano em milho adubado com remineralizador de solo	Rodrigues <i>et al.</i> (2018)
Biofertilizantes na produção da videira Isabel	Silva <i>et al.</i> (2019)
Crescimento inicial do meloeiro em função da aplicação de biofertilizantes no cultivo orgânico	Batista <i>et al.</i> (2019)
Microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado aumentan la producción de pepino	Hurtado <i>et al.</i> (2019)
Adubação nitrogenada associada à inoculação de <i>Bradyrhizobium japonicum</i> como estratégia para amenizar os efeitos da desfolha na soja	Zuffo <i>et al.</i> (2020)
Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos	Alovisi <i>et al.</i> (2020)
A remineralização de solos como iniciativa ao desenvolvimento sustentável	Viana <i>et al.</i> (2021)
Efeito Residual do pó de rocha basáltica nos atributos químicos e microbiológicos do solo e no estado nutricional da cultura da soja	Tebar <i>et al.</i> (2021)
Enrichment of organic compost with beneficial microorganisms and yield performance of corn and wheat	Andrade <i>et al.</i> (2021)
Prospecção Tecnológica Acerca da Produção e da Aplicação de Biofertilizantes no Cultivo de Leguminosas	Silva <i>et al.</i> (2021)
Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino	Andrade <i>et al.</i> (2022)

Fonte: Autores (2022)

A agricultura produz diversos resíduos agrícolas com grande quantidade de materiais orgânicos, os quais podem ser processados e reaproveitados como

fertilizantes orgânicos, configurando um substituto potencial para fertilizantes inorgânicos. Dentre esses fertilizantes orgânicos, os biofertilizantes líquidos produzidos por fermentação de matéria orgânica e água, sejam aeróbios ou anaeróbios, têm sido amplamente utilizados (Oliveira *et al.*, 2017). Segundo Silva e Mendonça (2007), o uso de produtos orgânicos na agricultura é muito importante devido à diversidade de nutrientes minerais e ao efeito positivo dos ativadores enzimáticos do metabolismo vegetal.

Nos trabalhos revisados, Batista *et al.* (2019), por exemplo, notaram resultados positivos no comprimento e área foliar do meloeiro (*Cucumis melo* L.) submetido, em cultivo orgânico, a diferentes doses de biofertilizantes formulados com minerais naturais e esterco caprino fresco, como fontes de macro e micronutrientes, água, leite e melão para multiplicação de microrganismo. Santos *et al.* (2014) avaliaram a produtividade e a pós-colheita da cultura do melão cultivar Mirage com a adição de dois tipos de biofertilizantes líquidos (misto de fermentação aeróbica e bovino simples de fermentação anaeróbica), além de dois tratamentos adicionais: controle e adubação mineral recomendada. Como resultado, obtiveram aumento linear da massa média de frutos em função das doses de biofertilizante bovino.

Conforme Araújo e Monterito (2007), esses resultados expressam que quanto maior for a quantidade de matéria orgânica, maior será a biomassa microbiana, fator primordial que controla as funções essenciais no solo, como a decomposição, acúmulo de matéria orgânica ou está envolvido na transformação de nutrientes minerais. Representa uma considerável reserva de nutrientes que é continuamente assimilada durante os ciclos de crescimento dos diferentes organismos que compõem o ecossistema.

Oliveira *et al.* (2014) verificaram que a variedade de pimenta Dedo de Moça (*Capsicum baccatum* var. *pendulum* L.) respondeu positivamente ao uso de biofertilizantes líquidos, "supermagro", "fermentado biológico" e "P + K (fósforo mais potássio), com aplicação foliar e no solo. Para a maioria dos caracteres relacionados à

produção de frutos, os processos divergem entre si, exceto quanto à largura do fruto. Segundo os autores, o cálcio é elemento fundamental para aumentar a espessura da parede da pimenta, visto que o nutriente aumenta o conteúdo de pectato de cálcio, importante para a formação de tecido. Sendo fornecido através da aplicação dos biofertilizantes, os quais fornecem uma nutrição adequada.

A adubação orgânica demonstrou impactos positivos na fertilidade do solo e no desenvolvimento das culturas, especialmente em sistemas agroecológicos. Nos estudos de Oliveira e colaboradores (2014) e Santos e colaboradores (2014), o uso de biofertilizantes resultou em aumentos significativos na produtividade de pimenta e melão, com uma melhoria notável na qualidade dos frutos. Esses resultados corroboram a ideia de que a adição de matéria orgânica melhora a estrutura física do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e a disponibilidade de nutrientes (Almeida *et al.*, 2020) (Quadro 2). No entanto, a eficácia da adubação orgânica depende fortemente da composição do material utilizado, da frequência de aplicação e do tipo de solo.

Quadro 2 – Efeitos da Adubação Orgânica nos Solos e Culturas

Autor	Cultura	Biofertilizante	Principais Resultados
Oliveira <i>et al.</i> (2014)	Pimenta Dedo de Moça	Biofertilizante líquido	Aumento na produção de frutos e melhoria da qualidade.
Santos <i>et al.</i> (2014)	Melão Mirage	Biofertilizante aeróbico	Aumento da massa dos frutos em função das doses aplicadas.
Almeida <i>et al.</i> (2020)	Maracujá Amarelo	Esterco bovino	Melhor estrutura do solo, maior retenção de água.

Fonte: Autores (2022)

Conforme mostra Aranda *et al.* (2015), provavelmente, essa variação de valores nos tratamentos foi propiciada pela presença de substâncias húmicas contidas no biofertilizante, as quais promovem melhorias no solo, proporcionando às plantas

uma absorção mais eficiente de água e nutrientes, resultando no aumento de seu desenvolvimento e subsequente produção. Para Silva *et al.* (2019), o aumento da massa dos frutos, em virtude do seu uso, pode estar relacionado aos altos teores de nitrogênio e potássio, que são elementos imprescindíveis na formação de frutos e, em consequência, para o aumento de produtividade. Contudo, observa-se que o biofertilizante também é eficiente em outras frutíferas como no maracujazeiro amarelo (Nunes *et al.*, 2016), mamoeiro (Lima Neto *et al.*, 2016) e goiabeira (Rocha *et al.*, 2016).

Andrade *et al.* (2021) realizaram um experimento no Nordeste brasileiro para investigar estratégias, como a adubação orgânica, visando reduzir os problemas de salinidade no cultivo do cajueiro. A salinidade da água de irrigação inibiu o crescimento inicial do cajueiro anão precoce. A correção desse problema foi alcançada por meio da aplicação de doses elevadas de esterco bovino, que demonstraram eficácia na melhoria das variáveis de crescimento.

Os efeitos do sal nas plantas se manifestam como sintomas tóxicos, como clorose ou necrose foliar, acompanhados de acúmulo excessivo de íons sódio e cloreto nos tecidos. Diversas estratégias podem aliviar o estresse salino, sendo uma delas a correção do solo, considerada dispendiosa e temporária (Wahome *et al.*, 2001; García-Sánchez *et al.*, 2002; Dasgan *et al.*, 2002). Nos sistemas agrícolas do semiárido, os biofertilizantes são essenciais para a conservação do solo e para manter suas características físicas, químicas e biológicas. Para garantir o sucesso dos cultivos, o solo deve ter um equilíbrio adequado de nutrientes, matéria orgânica e microrganismos (Borges; Bettiol, 2010; Biesdorf *et al.*, 2019; Jardim *et al.*, 2020).

Andrade *et al.* (2021), em seu experimento, avaliaram o enriquecimento de um composto maturado com quatro bactérias promotoras de crescimento de plantas e fungo micorrízico (*Rhizophagus clarus*) usando braquiária (*Urochloa brizantha*) como planta hospedeira. Analisaram que o enriquecimento de bactérias promotoras de crescimento de plantas modifica a dinâmica do nitrogênio mineral no composto. Concentrações aumentadas de N-amônia, dependendo da data de amostragem,

foram observadas quando inoculadas com *Bacillus subtilis* ou *Azotobacter*, enquanto as concentrações de nitrato-N diminuíram quando inoculadas com *Azotobacter*, *Bacillus subtilis* ou *Azotobacter*. *Urochloa brizantha*, cultivada em composto, propagou o fungo micorrízico *Rhizophagus clarus* em suas raízes e permitiu que o composto fosse enriquecido com propágulos, aumentando assim a colonização micorrízica do milho e do trigo e a produtividade do trigo no campo.

Zuffo *et al.* (2020) observaram que a resposta da soja a desfolha e a doses de Nitrogênio (N), associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum*, mostrou que é possível obter altos rendimentos de soja sem fornecimento de fertilizante N. Assim, atualmente os produtores brasileiros de soja adotam a inoculação de *Bradyrhizobium* sp. como a principal fonte de N para as culturas, pois é uma prática eficiente, com baixo custo econômico, quando comparada ao uso de fertilizante nitrogenado mineral.

Conforme Ahirwar *et al.* (2015), Kumar e Saraf (2015) e Rashid *et al.* (2016), o uso de microrganismos como biofertilizantes para espécies vegetais cultivadas é uma prática corriqueira nos últimos anos. As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) têm se destacado, pois esses microrganismos adaptam-se e crescem rapidamente ao redor de raízes de plantas. Singh *et al.* (2011) mostraram que a inoculação de grupos microbianos promove o crescimento das plantas, pois, além de aumentar a produtividade, envolvem diversos processos, como fixação de nitrogênio na atmosfera, disponibilidade de nutrientes essenciais, promoção do desenvolvimento das plantas e a qualidade das colheitas.

Dentre os trabalhos analisados, foi observado no de Silva *et al.* (2019) a importância dos biofertilizantes, como o de esterco bovino enriquecido com farinha de rocha MB4, cinza de madeira e leguminosas, na eficiência produtiva de frutos, como os de videira. Sendo assim, Condé *et al.* (2017) afirmam que esse efeito positivo do biofertilizante pode estar relacionado ao efeito da matéria orgânica, proporcionando resultados positivos diretos no solo, como diminuição da compactação, aumento da retenção de água e melhor disponibilidade de nutrientes. Segundo Bottomley (2005), os microrganismos do solo afetam diretamente a fertilidade e produtividade da planta

através da ciclagem de nutrientes, inibindo produção de fitopatógenos, produção de fitormônios e a capacidade de metabolização de agrotóxicos.

O Gráfico 1 destaca o impacto positivo dos microrganismos funcionais na produtividade de diferentes culturas agrícolas. Os estudos analisados mostram que a inoculação com rizobactérias e outros microrganismos promoveu aumentos significativos na produção. No cultivo de pepino, por exemplo, Hurtado *et al.* (2019) observaram um aumento de 23,5% na produtividade quando as rizobactérias foram aplicadas, passando de 28,5 toneladas por hectare (t/ha) para 35,2 t/ha.

De forma semelhante, no cultivo de soja, Zuffo *et al.* (2020) reportaram um incremento de 23,1% na produtividade ao utilizar *Bradyrhizobium*, elevando a produção de 3,9 t/ha para 4,8 t/ha. No caso da videira Isabel, Silva *et al.* (2019) mostraram um aumento de 25% na produção de frutos com o uso de biofertilizantes enriquecidos com microrganismos, enquanto na cultura do milho, Andrade *et al.* (2021) e Rodrigues *et al.* (2018) relataram incrementos de 20,6% e 26,4%, respectivamente, quando foram aplicados compostos enriquecidos e remineralização com silicato.

Figura 1 – Comparação da Produtividade de Culturas com e sem Microrganismos Funcionais



Fonte: Autores (2022)

Hurtado *et al.* (2019) avaliaram que o uso individualizado e associado de biofertilizantes, microrganismos eficientes e vermicomposto lixiviado no incremento agroprodutivo do pepino resultou no efeito bioestimulante na produção. Sendo assim, os autores desta pesquisa perceberam que essa prática constitui uma alternativa na produtividade das lavouras, principalmente porque aumentaram o número de folhas, flores femininas, frutos, massa e tamanho dos frutos e aumento de rendimento em relação ao tratamento de controle. Para Jarecki e Voroney (2005), Gutiérrez *et al.* (2008) e Tejada *et al.* (2008), o processo de vermicompostagem produz lixiviados, devido às atividades de microrganismos e drenagem de lixiviados ser importante para evitar a saturação do produto. Portanto, o lixiviado derivado de vermicomposto ou vermicomposto lixiviado são considerados benéficos e podem ser usados como fertilizantes líquidos, devido à alta concentração de nutrientes vegetais.

O desenvolvimento e aplicação de uma gestão sustentável dos solos agrícolas implica a utilização de diferentes técnicas, com redução da dependência de fertilizantes minerais e aumento da utilização de fontes naturais de nutrientes, como rochas fosfatadas e potássicas, a fixação biológica de nitrogênio e biofertilizantes, em combinação com a reciclagem de resíduos (FAO, 1995; Olivares, 2009).

Uma alternativa para a diminuição do uso de fertilizantes industriais no solo é a rochagem, que consiste na fertilização do solo pela adição de pó de rocha, oferecendo, assim, uma maior diversidade de nutrientes para as plantas, o que reflete uma qualidade superior de nutrição também no solo, na vida vegetal e animal, diferente dos fertilizantes mais solúveis que são constituídos por apenas um ou alguns sais de alta pureza (Theodoro; Leonardos, 2006; Carvalho *et al.*, 2018). A rochagem é uma tecnologia de grande importância para o meio ambiente, para o agronegócio, em especial para a agricultura familiar, por ser uma atividade que minimiza os danos ambientais, de menor risco financeiro e que diminui a dependência de insumos externos (Bergmann *et al.*, 2011).

O verdete é uma rocha pelítica rica em illita com glauconita (filossilicato hidratado de potássio e ferro, do grupo da mica), apresenta coloração verde (devido à glauconita) e possui teores variáveis de K_2O (óxido de potássio) e fosfato (Lima *et al.*, 2007). Silva e Lana (2015) avaliaram a disponibilidade de K (potássio), Ca (cálcio) e Mg (magnésio) com a utilização de diferentes ácidos no verdete. Como resultado, constataram que a rocha se apresentou como uma fonte de potássio com aumento da solubilização quando submetido a distintos tipos de ácidos testados. O ácido húmico foi a fonte de ácido que melhor forneceu o K. As doses de ácidos agem efetivamente na rocha verdete, favorecendo que a mesma disponibilize K, Ca e Mg. Além disso, analisaram que a eficiência da utilização da rocha como fertilizante reduz os passivos ambientais.

Durante o levantamento realizado por Rodrigues *et al.* (2018), para examinarem a incidência e severidade de dano de pragas, foi comparado o cultivo do milho adubado com remineralizador de rocha silicática em relação ao adubado com NPK (nitrogênio, fósforo e potássio). Os autores observaram a ocorrência de *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho), *Dalbulus maidis* (cigarrinha-do-milho) e *Diabrotica speciosa* (vaquinha) em menor quantidade nos tratamentos com remineralizador de solo, independente da dose. Sendo assim, constataram que o remineralizador tem a capacidade de reduzir a incidência de insetos sugadores e, conseqüentemente, o dano causado por lagarta do cartucho na cultura do milho. Além da resistência aos estresses biótico e abiótico conferida à planta pelo Si (Silício), este elemento no solo interage com o P contribuindo para ganho de produção em plantas, inclusive se o solo apresentar deficiência desse nutriente, e também é capaz de amenizar a vulnerabilidade de plantas a pragas causada por excesso de N (Sahebi *et al.*, 2015).

De acordo com Farooqi e colaboradores (2022), o silício (Si), aplicado no solo em plantações de trigo e nas folhas, melhora o crescimento e a produtividade das plantas em solos contaminados com cádmio (Cd). Ma e colaboradores (2021) também constataram o poder mitigador do Si contra a toxicidade do Cd nas plantações de arroz, além de melhorar o crescimento, mantendo a saúde do solo e sendo um aditivo

ecológico e de baixo custo para remediação do solo. Diante do exposto, percebe-se que o silício traz diversos benefícios para a agricultura, como a neutralização de metais tóxicos, melhora a eficácia da adubação fosfatada, disponibiliza molibdênio e fósforo nativo do solo, aumenta a atividade microbiana e a dissolução de outros metais tóxicos (Viana *et al.*, 2021).

Alovisi *et al.* (2017), em seu experimento, analisaram o efeito da adição de pó de basalto associado ou não a bioativo sobre os atributos químicos do solo, após períodos de incubação. Obtiveram os seguintes resultados: aumento significativo nos teores de cátions fundamentais ao desenvolvimento da planta, máxima redução da acidez ativa e elevação do pH em água. O pó de basalto pode ser considerado como uma fonte alternativa viável de fertilizante e corretivo do solo, porém isso depende diretamente da composição da rocha, do tamanho das partículas do material e condições do solo.

Tebar *et al.* (2021), em seu trabalho, verificaram os atributos químicos do solo. Na camada de 0-10 cm, a adubação química foi significativa para as variáveis P (fósforo), Al (alumínio), Cu (cobre) e Fe (ferro) e o efeito residual do pó de basalto foi significativo para a variável Fe. Na análise foliar, houve interação entre doses de basalto e adubação para P e efeito isolado das doses para K, Ca e Mn (manganês). Sendo assim, o efeito residual da rochagem basáltica pode afetar os atributos químicos do solo e nutrição da cultura. No trabalho de Livi e Castamann (2016), o uso de termofosfato combinado com adubo orgânico influenciou as variáveis número de folhas por planta e massa verde, porém não ocorreu alteração nas outras variáveis analisadas.

De acordo com Camargo *et al.* (2012), o pó de basalto apresenta lenta liberação e/ou fornecimento de nutrientes no solo, visto que o processo de disponibilização é considerado um processo complexo, pois depende, entre outros fatores, da granulometria e tempo de reação, além de fatores do próprio solo, como pH e atividade biológica. Cola e Simão (2012) apontam que a principal desvantagem da utilização desse pó de rocha reside na dificuldade de liberação dos nutrientes. Segundo os autores, a alternativa para aumentar a disponibilidade de nutrientes de rochas é a solubilização biológica, principalmente realizada por bactérias.

Theodoro *et al.* (2012) alertam que a rochagem pode ser uma das bases fundamentais para a incorporação dos princípios agroecológicos, já que tem como base a alteração dos níveis de fertilidade do solo, através do uso de matérias geológicas amplamente disponíveis. Essa prática está alinhada com os princípios da agroecologia, que visam promover sistemas agrícolas sustentáveis, baseados na integração harmoniosa entre os processos naturais e a agricultura.

A rochagem, uma técnica de remineralização do solo com a aplicação de pó de rocha, tem se mostrado uma alternativa viável para a fertilização natural. Os estudos de Theodoro *et al.* (2012) e Alovisi *et al.* (2020) mostraram que a aplicação de pó de basalto promoveu a liberação gradual de potássio, cálcio e magnésio, resultando em melhorias na fertilidade do solo e resistência das plantas a pragas (Quadro 3). Porém, a rochagem apresenta variações em sua eficácia, dependendo da composição do solo e da granulometria das rochas aplicadas.

Quadro 3 – Efeitos da Rochagem em Diferentes Solos e Culturas

Autor	Rocha Utilizada	Cultura	Principais Resultados
Theodoro <i>et al.</i> (2012)	Basalto	Milho	Redução de pragas e aumento da resistência.
Alovisi <i>et al.</i> (2020)	Basalto	Soja	Aumento dos níveis de nutrientes como K, Ca e Mg.
Rodrigues <i>et al.</i> (2018)	Silicato de rocha	Milho	Menor incidência de lagarta-do-cartucho e cigarrinha-do-milho.

Fonte: Autores (2022)

A biodiversidade e a revitalização dos solos estão interligadas por meio da ação microbiológica. Os microrganismos do solo desempenham um papel fundamental na geração da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e formação da estrutura do solo, que são essenciais para a produtividade das plantas e para a sustentabilidade do ecossistema. A diversidade desses seres no solo é essencial para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas.

Uma das estratégias para promover a biodiversidade do solo é a remineralização por meio da rochagem. A remineralização é a adição de nutrientes ao solo, a fim de melhorar sua fertilidade e a produtividade. A adição de minerais no solo, como rochas vulcânicas, pode aumentar a sua biodiversidade, pois fornece nutrientes essenciais para o crescimento de microrganismos e plantas. Além disso, esse processo pode aumentar a capacidade do solo de reter água e nutrientes, atendendo a necessidade de irrigação e fertilização química. Sendo assim, a adoção de práticas agrícolas verdes, como a rochagem, pode promover a biodiversidade do solo e melhorar a sua fertilidade de maneira natural e sustentável.

Ao comparar os três métodos, observa-se que a adubação orgânica, quando combinada com microrganismos funcionais, apresenta um efeito sinérgico, melhorando a ciclagem de nutrientes e promovendo uma maior estabilidade biológica no solo (Singh *et al.*, 2011). Além disso, a rochagem complementa esses efeitos, oferecendo uma liberação gradual de minerais, o que contribui para a melhoria contínua da qualidade do solo ao longo do tempo (Theodoro; Leonardos, 2006). Contudo, ainda existem lacunas, como a necessidade de mais estudos sobre a combinação dessas práticas em diferentes tipos de solo e condições climáticas. A aplicação dessas práticas em larga escala também enfrenta desafios, como o custo inicial e a falta de conhecimento técnico entre os agricultores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As práticas de adubação orgânica, microrganismos funcionais e rochagem apresentam evidências de que essas alternativas sustentáveis contribuem para a fertilidade do solo, a melhoria da produtividade agrícola e a preservação dos recursos naturais. Uma das principais recomendações para a implementação dessas práticas é o desenvolvimento de programas de capacitação técnica voltados para pequenos e grandes produtores, a fim de disseminar o conhecimento sobre os benefícios e técnicas de aplicação dessas abordagens.

A adubação orgânica, por exemplo, pode ser facilmente implementada em propriedades rurais que já produzem resíduos orgânicos, mas sua eficiência pode ser aprimorada com um manejo adequado da compostagem e dos biofertilizantes. Já a rochagem, por envolver a aplicação de pó de rocha, requer estudos prévios sobre a composição mineral do solo e o tipo de rocha mais adequado para cada região, para garantir uma liberação eficiente de nutrientes ao longo do tempo.

Para pesquisas futuras, recomenda-se uma abordagem mais experimental e longitudinal para avaliar a interação dessas práticas em diferentes tipos de solo e climas, além de escalas variadas de produção. Estudos devem ser conduzidos para verificar o impacto sinérgico da adubação orgânica, dos microrganismos funcionais e da rochagem, não apenas em termos de produtividade, mas também na melhoria da biodiversidade do solo e na capacidade de resistência das culturas a pragas e estresses ambientais.

Outro ponto que carece de mais investigações é o custo-benefício dessas práticas em larga escala. Embora a literatura mostre seus benefícios ambientais e agronômicos, a adoção em maior escala pode ser limitada por fatores econômicos, como os custos iniciais de implementação e a falta de incentivos governamentais. Assim, é crucial que futuras pesquisas avaliem o retorno financeiro dessas práticas e explorem possíveis modelos de subsídios e políticas públicas que incentivem os agricultores a adotá-las.

Do ponto de vista da produção de alimentos a partir de solos capazes de desempenhar suas funções em condições ambientais seguras e socialmente aceitáveis, a sustentabilidade agrícola está diretamente relacionada à qualidade dos mesmos. Para tanto, um dos princípios fundamentais da agroecologia é a substituição de fertilizantes sintéticos altamente solúveis por outros insumos que proporcionem taxas de liberação de nutrientes mais adaptadas às necessidades das culturas ao longo do tempo, sustentabilidade, estabilidade biológica e conservação dos recursos.

Sendo assim, a implementação de adubação orgânica, microrganismos funcionais e rochagem oferece uma alternativa promissora e sustentável para a

agricultura, mas depende de uma combinação de capacitação técnica, adaptações regionais e apoio institucional. Somente por meio de um esforço coordenado entre pesquisadores, produtores e políticas públicas será possível alcançar uma agricultura mais sustentável, capaz de enfrentar os desafios ambientais e garantir a segurança alimentar em longo prazo.

REFERÊNCIAS

AHIRWAR, N. K.; Gupta, G.; SINGH, V.; RAWLLEY, R. K.; RAMANA, S. Influence on growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants by inoculation with *Pseudomonas fluorescence* (SS5): Possible role of plant growth promotion. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci**, India, v. 4, n. 2, p. 720-730, 2015.

ALEXANDRATOS N.; WILEY, John; Chichester, (ed.). **World agriculture: Towards 2010**, An FAO Study. Reino Unido: FAO, 1995.

ALMEIDA, W. A.; ARAÚJO NETO, S. E.; UCHÔA, T. L.; SOUZA, L. G.; SILVA, N. M.; FERREIRA, R. L. F.; TOMIO, D. B. Chemical soil and leaf properties in yellow passion fruit cultivation with organic fertilization. **Comunicata Scientiae**, [S. l.], v. 11, p. e3342-e3342, 2020.

ALOVISI, A. M. T.; TAQUES, M. M.; ALOVISI, A. A.; SILVA, J. A. M.; CASSOL, C. J. Rochagem como alternativa sustentável para a fertilização de solos. **Revista de Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Dourados, v. 9, n. esp., p. 918-932, 2020. DOI: [10.19177/rgsa.v9e012020918-932](https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e012020918-932)

ALOVISI, A. M. T.; TAQUES, M. M.; ALOVISI, A. A.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S.; PIESANTI, G. H. L. M. Alterações nos atributos químicos do solo com aplicação de pó de basalto. **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 69-79, 2017.

ANDRADE, E. M. G.; SILVA, S. S.; LIMA, G. S.; ANJOS SOARES, L. A.; SILVA, A. A. R.; DE LACERDA, C. N. Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p. 10-16, 2022. ISSN-e: 1981-8203

ANDRADE, F. C.; FERNANDES, F.; JÚNIOR, A. O.; RONDINA, A. B. L.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A. Enrichment of organic compost with beneficial microorganisms and yield performance of corn and wheat, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], v. 25, n. 5, p. 332-339, 2021. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v25n5p332-339](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v25n5p332-339)

ARANDA, V.; MACCI, C.; PERUZZI, E.; MASCIANDARO, G. Biochemical activity and chemical-structural properties of soil organic matter after 17 years of amendments with olivemill pomace co-compost. **Journal of Environmental Management**, [S. l.], v. 147, p. 278-285, 2015. DOI: [10.1016/j.jenvman.2014.08.024](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.024)

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 66-75, 2007.

BATISTA, G. S.; SILVA, J. L.; ROCHA, D. N. S.; SOUZA, A. R. E.; ARAÚJO, J. F.; MESQUITA, A. C. Crescimento inicial do meloeiro em função da aplicação de biofertilizantes no cultivo orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 24-32, 2019.

BERGMANN, M.; THEODORO, S. M. C. H.; HOFF, R. Rochagem: uma alternativa sustentável na remineralização de solos. **Conselho em Revista**, Porto Alegre, v. 7, n. 85, p. 34-35, 2011.

BIESDORF, E. M.; JARDIM, A. M. R. F.; BIESDORF, E. M.; BARROS, A. F.; ARAÚJO, C.; PIMENTEL, L. D. Can the Nitrogen and Silicon Increase the Productivity and Yield in Rice Crops in the Rainfed Environment? **Journal of Agricultural Science**, Biesdorf, v. 11, p. 117-130, 2019. DOI: [10.5539/jas.v11n18p117](https://doi.org/10.5539/jas.v11n18p117)

BORGES, M.; BETTIOL, W. **Agricultura Orgânica**. EMBRAPA MEIO AMBIENTE. Ministério da Agricultura e Abastecimento. p. 2, 2010.

BOTTOMLEY, P. J. Microbial ecology. In: SYLVIA, D. M. et al. **Principles and applications of soil microbiology**. 2 ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2005. p. 463-488.

BRITO, R. S.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. G. V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação complementar. **South American Journal of basic education, technical and technological**, [S. l.], v. 6 n. 1, p. 528-540, 2019.

CAMARGO, C. K.; RESENDE, J. T. V; CAMARGO, L. K. P; FIGUEIREDO, A. S. T; ZANIN, D. S. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. **Semina: Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 33, n. 1, p. 2985-2994, 2012. DOI: [10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2985](https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p2985)

CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO I. M.; SOUZA, M. E. P.; THEODORO, S. H. Rochagem: O que se sabe sobre essa técnica? Solos e agroecologia. In: CARDOSO, I.M., FÁVERO, C (Eds). **Coleção Transição Agroecológica**. v. 4. Brasília: Embrapa, 2018. p. 101-128. Disponível em: https://sgbeduca.cprm.gov.br/media/adultos/cartilha_rochagem.pdf. Acesso em: 06 abr. 2022.

COLA, G. P. A; SIMÃO, J. B. P. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. **Revista Verde**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 15-27, 2012. Disponível em: <http://revista.gvaa.com.br>. Acesso em: 04 abr. 2022.

DASGAN, H. Y.; AKTAS, H., ABAK, K.; CAKMAK, I. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. **Plant Science**, [S. l.], v. 163, p. 695-703, 2002.

ESCALAS, A.; HALE, L.; VOORDECKERS, J. W.; YANG, Y.; FIRESTONE, M. K.; ALVAREZ-COHEN, L.; ZHOU, J. Microbial functional diversity: From concepts to applications. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 20, p. 12000-12016, 2019. <https://doi.org/10.1002/ece3.5670>

FAROOQI, Z.; MURTAZA, G.; BIBI, S.; SABIR, M.; OWENS, G. S.; AHMAD, I.; ZEESHAN, N. Imobilização de cádmio no sistema solo-planta através de silício aplicado no solo e via foliar. **International Journal of Phytoremediation**, [S. l.], v. 24, p. 1193-1204, 2022. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.2024133>

GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; JIFON, J. L.; CARVAJAL, M.; SYVERTSEN, J. P. Gas exchange, chlorophyll and nutrient contents in relation to Na⁺ and Cl⁻ accumulation in 'Sunburst' mandarin grafted on different Rootstocks. **Plant Science**, [S. l.], v. 162, p. 705-712, 2002.

GUTIÉRREZ, F. A.; GARCÍA, R. C.; RINCÓN, R.; ABUD, M.; Oliva, M. A.; Cruz, M. J.; DENDOOVEN, L. Formulation of a liquid fertilizer for sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) using vermicompost leachate. **Bioresour. Technol.**, Holanda, v. 99, n. 11, p. 6174-6180, 2008. DOI: [10.1016/j.BIORTECH.2007.12.043](https://doi.org/10.1016/j.BIORTECH.2007.12.043)

HURTADO, A. C.; RODRÍGUEZ, E. Q.; Díaz Y. P.; HURTADO, Y. G.; LORENZO, T. N. G. Microorganismos eficientes y vermicompost lixiviado aumentan la producción de pepino. **Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.**, [S. l.], v. 22, n. 2, p. e1167, 2019. DOI: [10.31910/rudca.v22.n2.2019.1167](https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1167)

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, G. Í. N.; BIESDORF, E. M.; PINHEIRO, A. G.; SILVA, M. V.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; SILVA, T. G. F. Production potential of *Sorghum bicolor* (L.) Moench crop in the Brazilian semiarid. **Pubvet**, [S. l.], v. 14, n. 4, p. 1-13, 2020. DOI: [10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13](https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n4a550.1-13)

JARECKI, M. K.; CHONG, C.; VORONEY, R. P. Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. **Journal of plant nutrition**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 651-667, 2005.

KUMAR, M.; SARAF, S. Sums of products of polynomials in few variables: lower bounds and polynomial identity testing. **arXiv preprint arXiv:1504.06213**, 2015. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1504.06213>

LIMA NETO, A. J.; CAVALCANTE, L. F.; MESQUITA, F. O.; SOUTO, A. G. L.; SANTOS, G. P.; SANTOS, J. Z.; MESQUITA, E. F. Papaya seedlings irrigation with saline water in soil with bovine biofertilizer. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Chillán, v. 76, p. 235-241, 2016. DOI: [10.4067/S0718-58392016000200014](https://doi.org/10.4067/S0718-58392016000200014)

LIMA, R. C. M.; STAMFORD, N. P.; ROSÁLIA, C. E.; SANTOS, S.; DIAS, S. H. L. D. Rendimento da alface e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 25, n. 2, p. 224-229, 2007.

LIU, M.; ZHANG, W.; WANG, X.; WANG, F.; DONG, W.; HU, C.; LIU, B.; SUN, R. Nitrogen leaching greatly impacts bacterial community and denitrifiers abundance in subsoil under long-term fertilization. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 294, p. 106885, 2020. DOI: [10.1016/j.agee.2020.106885](https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106885)

LIVI, A.; CASTAMANN, A. Uso de pó de rocha, termofosfato e adubo orgânico na produção de hortaliças, **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Chapecó, v. 10, n. 10, p. 1-7, 2016. DOI: [10.18378/rvads](https://doi.org/10.18378/rvads)

MA, C.; CI, K.; ZHU, J.; SUN, Z.; LIU, Z.; LI, X.; ZHU, Y.; LIU, Z. Impactos do silício mineral exógeno na migração e transformação do cádmio no sistema solo-arroz e na saúde do solo. **The Science of the total environment**, [S. l.], v. 759, p. 14350, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143501>

MARINARI, S.; BONIFACIO, E.; MOSCATELLI, M. C.; FALSONE, G.; VITTORI ANTISARI, L.; VIANELLO, G. Soil development and microbial functional diversity: proposal for a methodological approach. **Geoderma**, [S. l.], v. 192, p. 437-445, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.023>

OLIVARES, F. Bactérias promotoras de crescimento vegetal. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 22-25, jan./mar. 2009.

OLIVEIRA, F. I. F.; MEDEIROS, W. J. F.; CAVALCANTE, L. F.; CAVALCANTE, Í. H. L.; SOUTO, A. G. L.; NETO, A. J. L. Crescimento e produção do maracujazeiro amarelo fertirrigado com esterco bovino líquido fermentado. **Revista Agropecuária Técnica**, [S. l.], v. 38, n. 4, p. 191-199, 2017. DOI: [10.25066/agrotec.v38i4.34434](https://doi.org/10.25066/agrotec.v38i4.34434)

OLIVEIRA, J. R.; GOMES, R. L. F.; ARAÚJO, A. S. F.; MARINI, F. S.; LOPES, J. B.; ARAÚJO, R. M. Estado nutricional e produção da pimenteira com uso de biofertilizantes líquidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 12, p. 1241-1246, 2014. DOI: [10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1241-1246](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1241-1246)

PIMENTEL, M. S.; AQUINO, A. M.; CORREIA, M. E. F.; COSTA, J. R.; RICCI, M. S. F.; DE-POLLI, H. Atributos biológicos do solo sob manejo orgânico de cafeeiro, pastagem e floresta em região do médio do Paraíba fluminense-RJ. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, p. 85-93, 2006.

PRAKASH, J.; ARORA, N. K. Development of Bacillus safensis-based liquid bioformulation to augment growth, stevioside content, and nutrient uptake in Stevia rebaudiana. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 1-13, 2019.

RASHID, M. I.; MUJAWAR, L. H.; SHAHZAD, T.; ALMEELBI, T.; ISMAIL, I. M. I. Oves, M. Bacteria and fungi can contribute to nutrients bioavailability and aggregate formation in degraded soils. **Microbiol. Res.**, Holanda, v. 183, p. 26-41, 2016. DOI: [10.1016/j.micres.2015.11.007](https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.11.007)

ROCHA, L. F.; CAVALCANTE, L. F.; NUNES, J. C.; SOUTO, A. G. L.; CAVALCANTE, A. C. P.; CAVALCANTE, I. H. L.; PEREIRA, W. E. Fruit production and quality of guava Paluma as a function of humic substances and soil mulching. **African Journal of Biotechnology**, [S. l.], v. 15, n. 36, p. 1962-1969, 2016. DOI: [10.5897/AJB2016.15587](https://doi.org/10.5897/AJB2016.15587)

RODRIGUES, P. F. M.; ARAÚJO, D. A. O.; ALMEIDA, S. M.; RODRIGUES, P. G. M.; BRITO, E. S. G.; RODRIGUES, T. T. M. S. Pragas e dano em milho adubado com remineralizador de solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 13, n. 5, p. 630-636, 2018. DOI: [10.18378/rvads.v13i5.6319](https://doi.org/10.18378/rvads.v13i5.6319)

SAHEBI, M.; HANAFI, M. M.; AKMAR, A. S. N.; RAFII, M. Y.; AZIZI, P.; TENGOUA, F. F.; AZWA, J. N. M.; SHABANIMOFRAD, M. Importance of silicon and mechanisms of biosilica formation in plants. **BioMed Research International**, [S. l.], v. 2015, p. 1-16, 2015. DOI: [10.1155/2015/396010](https://doi.org/10.1155/2015/396010)

SÁIZ-RUBIO, V.; ROVIRA-MÁS, F. Da Agricultura Inteligente para a Agricultura 5.0: Uma Revisão sobre Gestão de Dados de Culturas. **Agronomia**. Valencia, v. 10, p. 207, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020207>

SANTOS A. P. G.; VIANA T. V. A.; SOUSA G. G.; GOMES-DO-Ó, L. M.; AZEVEDO B. M.; SANTOS A. M. Produtividade e qualidade de frutos do meloeiro em função de tipos e doses de biofertilizantes. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 32, p. 409-416, 2014. DOI: [10.1590/S0102-053620140000400007](https://doi.org/10.1590/S0102-053620140000400007)

SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; MORAES, C. R. A.; GONDIM, T. M. S.; CARDOSO, G. D.; VIRIATO, J. R.; BELTRÃO, N. E. M. Produtividade e crescimento da mamoneira em resposta à adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 879-882, 2006.

SILVA, A. A.; LANA, R. M. Q. Incubação do verdete com diferentes fontes de ácidos para disponibilização de potássio, cálcio, magnésio do solo. **Holos**, [S. l.], ano 31, v. 5, p. 73-83, 2015. DOI: [10.15628/holos.2015.3210](https://doi.org/10.15628/holos.2015.3210)

SILVA, E. M.; SILVA, A. F.; ARAÚJO, J. L. Prospecção Tecnológica Acerca da Produção e da Aplicação de Biofertilizantes no Cultivo de Leguminosas. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 14, n. 3, p. 999-1014, 2021. DOI: [10.9771/cp.v14i3.38223](https://doi.org/10.9771/cp.v14i3.38223)

SILVA, F.L.; LIMA, A. S.; SANTOS, J. M.; ALVES, J. M.; SOUSA, C. S.; SANTOS, J. G. R. Biofertilizantes na produção da videira Isabel. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 211-217, 2019. DOI: [10.18378/rvads.v14i2.6200](https://doi.org/10.18378/rvads.v14i2.6200)

SILVA, I. R.; MENDONÇA E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS R. F; Alvarez, V.V.H., BARROS, N. F., FONTES R. L. F, CANTARUTTI R. B., NEVES J. C. L (eds.). **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, 2007. p. 275-374.

SINGH, J.S.; PANDEY, V.C.; SINGH, D. P. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. **Agric. Ecosyst. Environ**, Holanda, v. 140, n. 3-4, p. 339-353, 2011. DOI: [10.1016/j.agee.2011.01.017](https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017)

TEBAR, M. M.; ALOVISI, A. M. T.; MUGLIA, G. R. P.; VILLALBA, L. A.; SOARES, M. S. P. Efeito Residual do pó de rocha basáltica nos atributos químicos e microbiológicos do solo e no estado nutricional da cultura da soja. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. e375101119612, 2021. DOI: [10.33448/rsd-v10i11.19612](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19612)

TEJADA, M.; GONZÁLEZ, J. L.; HERNÁNDEZ, M. T.; GARCÍA, C. Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. **Bioresour. Technol.**, Holanda, v. 99, n. 14, p. 6228-6232, 2008. DOI: [10.1016/J.BIORTECH.2007.12.031](https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2007.12.031)

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOU E, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS O. & HARPER J. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 5, n. 6, 2012. DOI: [10.26848/rbgf.v5i6.2329297](https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i6.2329297)

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

TOSCANI, R.G.S.; CAMPOS, J. E. G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. **Geociências**, [S. l.], v. 36, p. 259-274, 2017.

VIANA, L. S. B.; CAITANO, T. B. S.; PONTES, A. N. A remineralização de solos como iniciativa ao desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 14, p. e45101421516, 2021. DOI: [10.33448/rsd-v10i14.21516](https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21516)

WAHOME, P. K.; JESCH, H. H.; GRITNER, I. Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: *Rosa chinensis* Major and *R. rubiginosa*. **Scientia Horticulturae**, [S. l.], v. 87, p. 207-216, 2001.

ZUFFO, A. M.; RATKE, R. F.; AGUILERA, J. G.; MORAIS, K. A. D.; SILVA, J. X.; TRENTO, A. C. S. Adubação nitrogenada associada à inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* como estratégia para amenizar os efeitos da desfolha na soja. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 14, n. 1, p. 17-26, 2020. DOI: [10.17765/2176-9168.2021v14n1e008014](https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14n1e008014)

Contribuição de Autoria

1 Juliana Gabriela Alves de Oliveira

Mestra em Biodiversidade Vegetal, Professora

<https://orcid.org/0009-0003-5625-785X> • ju.gaby.3120@hotmail.com

Contribuição: Conceitualização; Pesquisa; Metodologia; Redação do manuscrito original

2 Hélio Souza dos Reis

Mestre em Biodiversidade Vegetal, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-8183-4183> • helio_souzareis@hotmail.com

Contribuição: Metodologia; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

3 Jairton Fraga Araújo

Doutor em Agronomia, Professor

<https://orcid.org/0000-0003-3649-9416> • jairtonfraga@bol.com.br

Contribuição: Metodologia; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

4 Luciano Sérgio Ventin Bomfim

Doutor em Filosofia, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7161-3002> • lsvbomfim@gmail.com

Contribuição: Metodologia; Design da apresentação de dados; Escrita – revisão e edição

5 Anna Christina Freire Barbosa

Doutora em Ciências Sociais, Professora

<https://orcid.org/0000-0001-5307-0828> • acbarbosa@uneb.br

Contribuição: Conceitualização; Análise de dados; Pesquisa; Metodologia; Supervisão; Redação do manuscrito original

Como citar este artigo

OLIVEIRA, J. G. A.; REIS, H. S.; ARAÚJO, J. F.; BOMFIM, L. S. V.; BARBOSA, A. C. F. Biodiversidade e a revitalização dos solos – da ação microbiológica à adição de nutrientes para remineralização. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 35, e70819, p. 1-23, 2025. DOI 10.5902/1980509870819. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509870819>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.