

Adubação verde: práticas sustentáveis para a fertilidade do solo e a conservação ambiental

Green manuring: sustainable practices for soil fertility and environmental conservation

Vânia Barbosa de Oliveira¹, Rubevânia Silva Moura¹, Joelma Alexandre Farias¹, Josenira dos Santos França¹ & Helen Batista Silva²

¹Mestras em Gestão e Gestão Sistemas Agroindustriais-PPGSA, campus Pombal, Paraíba. E-mails: bovania30@gmail.com, rubevania.moura@ufcg.edu.br, joelma.alexandre@tecnico.ufcg.edu.br, josenirauufcg@gmail.com.

²Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos em Rede Nacional - CDSA/UFCG. E-mail: helenbsilva9927@gmail.com.

Resumo: A intensificação da agricultura e os desafios ambientais têm levado à degradação do solo, comprometendo a sustentabilidade agrícola. Cerca de 33% dos solos globais estão moderados ou altamente degradados, o que compromete a qualidade do solo e a sustentabilidade agrícola. Nesse contexto, a adubação verde surge como uma técnica essencial, promovendo a fertilidade do solo e a conservação ambiental. Nesse sentido, o objetivo desse estudo é caracterizar os benefícios da adubação verde na melhoria da qualidade do solo e na promoção da sustentabilidade agrícola. Este estudo adotou uma abordagem metodológica baseada na revisão integrativa da literatura para analisar o papel da adubação verde na melhoria da qualidade do solo e na promoção da sustentabilidade agrícola e ambiental. O problema de pesquisa foi definido pela questão central: "Como a adubação verde pode contribuir para a melhoria da qualidade do solo e promover a sustentabilidade agrícola e ambiental?" Para garantir a relevância e qualidade dos estudos incluídos, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão, sendo os dados coletados em bases acadêmicas reconhecidas. Os estudos selecionados foram analisados qualitativamente, focalizando objetivos, metodologias, resultados e conclusões, além de identificar lacunas e áreas para futuras pesquisas. A síntese dos estudos foi organizada em torno de temas emergentes, incluindo os efeitos da adubação verde na estrutura e fertilidade do solo, impacto na biomassa e atividade microbiológica, eficácia na ciclagem de nutrientes e supressão de ervas daninhas, e práticas recomendadas e espécies vegetais ideais para a adubação verde. A adubação verde, utilizando plantas de cobertura como leguminosas e gramíneas, apresenta significativos benefícios para a estrutura física do solo, biomassa, atividade microbiológica, ciclagem de nutrientes e supressão de ervas daninhas. Estudos demonstram que a adubação verde melhora a porosidade, agregação e infiltração de água no solo, essenciais para a saúde do solo e redução da erosão. A biomassa das plantas de cobertura enriquece o solo com matéria orgânica, estimulando a atividade microbiológica e promovendo a ciclagem eficiente de nutrientes, diminuindo a necessidade de fertilizantes químicos. Leguminosas, como o feijão-guandu e a mucuna, são particularmente eficazes na fixação biológica de nitrogênio, aumentando a disponibilidade desse nutriente no solo. A adubação verde também contribui para a ciclagem de fósforo e potássio, essenciais para o crescimento das plantas. A capacidade das plantas de cobertura em suprimir ervas daninhas, através da competição por recursos e das propriedades alelopáticas, reduz a dependência de herbicidas químicos, beneficiando o meio ambiente e a saúde do solo. Considerando esses benefícios, a adubação verde se destaca como uma prática agrícola sustentável, promovendo solos mais saudáveis e produtivos. A adoção dessa técnica pode levar a uma agricultura mais resiliente e sustentável, capaz de enfrentar os desafios da degradação do solo e das mudanças climáticas. É crucial incentivar a adoção da adubação verde por meio de políticas públicas, pesquisas contínuas e capacitação dos agricultores. A prática deve ser adaptada às condições locais e às necessidades específicas das culturas para maximizar seus benefícios e promover a sustentabilidade agrícola em larga escala.

Palavras-chave: Adubação verde. Fertilidade do solo. Sustentabilidade agrícola.

Abstract: The intensification of agriculture and environmental challenges have led to soil degradation, compromising agricultural sustainability. About 33% of global soils are moderately or highly degraded, compromising soil quality and agricultural sustainability. In this context, green manure emerges as an essential technique, promoting soil fertility and environmental conservation. Therefore, the aim of this study is to characterize the benefits of green manure in improving soil quality and promoting agricultural sustainability. This study adopted a methodological approach based on integrative literature review to analyze the role of green manure in improving soil quality and promoting agricultural and environmental sustainability. The research problem was defined by the central question: "How can green manure contribute to improving soil quality and promoting agricultural and environmental sustainability?" To ensure the relevance and quality of the included studies, inclusion and exclusion criteria were established, and data were collected

Aceito para publicação em: 15 de junho de 2026 e publicado em: 29 de julho de 2026.

from recognized academic databases. The selected studies were analyzed qualitatively, focusing on objectives, methodologies, results, and conclusions, as well as identifying gaps and areas for future research. The synthesis of the studies was organized around emerging themes, including the effects of green manure on soil structure and fertility, impact on biomass and microbiological activity, effectiveness in nutrient cycling and weed suppression, and recommended practices and ideal plant species for green manure. Green manure, using cover crops such as legumes and grasses, presents significant benefits for soil physical structure, biomass, microbiological activity, nutrient cycling, and weed suppression. Studies demonstrate that green manure improves soil porosity, aggregation, and water infiltration, which are essential for soil health and erosion reduction. The biomass of cover crops enriches the soil with organic matter, stimulating microbiological activity and promoting efficient nutrient cycling, reducing the need for chemical fertilizers. Legumes, such as pigeon pea and velvet bean, are particularly effective in biological nitrogen fixation, increasing the availability of this nutrient in the soil. Green manure also contributes to the cycling of phosphorus and potassium, which are essential for plant growth. The ability of cover crops to suppress weeds, through competition for resources and allelopathic properties, reduces dependence on chemical herbicides, benefiting the environment and soil health. Considering these benefits, green manure stands out as a sustainable agricultural practice, promoting healthier and more productive soils. The adoption of this technique can lead to more resilient and sustainable agriculture, capable of facing the challenges of soil degradation and climate change. It is crucial to encourage the adoption of green manure through public policies, continuous research, and farmer training. The practice should be adapted to local conditions and specific crop needs to maximize its benefits and promote agricultural sustainability on a large scale.

Keywords: Green manure. Soil fertility. Agricultural sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A crescente demanda global por alimentos, aliada aos desafios ambientais como a degradação do solo, a perda de biodiversidade e as mudanças climáticas, tem impulsionado a busca por práticas agrícolas mais sustentáveis (Martinelli e Cavalli, 2019).

Segundo Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (ONU, 2021), cerca de 33% dos solos do mundo estão moderada ou altamente degradados devido à erosão, salinização, compactação e contaminação.

A intensificação da agricultura levou ao uso intensivo do solo e à má gestão dos recursos naturais, agravando a degradação ambiental, especialmente do solo e da água. Essas práticas comprometem a relação solo-água-planta-atmosfera, prejudicando o equilíbrio ambiental e a qualidade de vida. O manejo inadequado dos resíduos orgânicos e do solo reduz o acúmulo de carbono, aumentando a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, a ocupação irracional das áreas rurais e a busca por lucro na agricultura aceleram a degradação do solo, diminuindo sua fertilidade e potencial produtivo. Questões climáticas extremas, pragas e doenças agravam ainda mais a situação, ameaçando a segurança alimentar das populações (Calegari, 2023).

Nesse contexto, a adubação verde emerge como uma técnica essencial, promovendo a fertilidade do solo e a conservação ambiental. Trata-se de uma prática antiga, que nos remonta às primeiras civilizações agrícolas. Documentos históricos indicam que os agricultores chineses utilizavam leguminosas para melhorar a fertilidade do solo há mais de 3.000 anos. Os romanos também praticavam a adubação verde, utilizando plantas como ervilhacas e trevos para enriquecer o solo entre cultivos (Wutke et al., 2007).

Também conhecida como cultivo de cobertura ou adubação orgânica, é uma prática agrícola que envolve o cultivo de plantas específicas, denominadas adubos verdes, com o propósito de melhorar a qualidade do solo e promover a sustentabilidade agrícola. Essas plantas como leguminosas (ex.: feijão-guandu, mucuna) e gramíneas (ex.: aveia, centeio), são cultivadas principalmente para serem incorporadas ao solo enquanto ainda estão verdes,

servindo como uma fonte de matéria orgânica e nutrientes, e proporcionando diversos benefícios agrônômicos (Brasil, 2022).

Os princípios básicos da adubação verde incluem a escolha de espécies vegetais que podem fixar nitrogênio atmosférico, como as leguminosas, ou aquelas que possuem um rápido crescimento e uma alta produção de biomassa, como as gramíneas e crucíferas. As plantas utilizadas na adubação verde desempenham múltiplas funções: elas ajudam na ciclagem de nutrientes, melhoram a estrutura do solo, aumentam a atividade microbológica, suprimem ervas daninhas e protegem o solo contra a erosão (Ferreira et al., 2018).

Diante da intensificação da agricultura e do uso inadequado dos recursos naturais, o solo agrícola está cada vez mais degradado, comprometendo a sua fertilidade e a sustentabilidade dos sistemas de produção, levantando-se a seguinte questão: como a adubação verde pode contribuir para reverter esses processos de degradação e promover a sustentabilidade agrícola e ambiental?

A adubação verde é uma prática agrícola que oferece benefícios significativos para a sustentabilidade dos agroecossistemas. Academicamente, este estudo é relevante porque contribui para o avanço do conhecimento sobre práticas agrícolas sustentáveis, oferecendo bases que podem ser aplicados em diferentes contextos agrônômicos. Socialmente, a melhoria da qualidade do solo e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para garantir a segurança alimentar e a saúde pública. Culturalmente, a recuperação de práticas agrícolas tradicionais, como a adubação verde, reforça a conexão entre as comunidades rurais e suas heranças agrícolas. Economicamente, a adubação verde pode reduzir a dependência de fertilizantes químicos, diminuindo os custos de produção e aumentando a rentabilidade das propriedades agrícolas, além de promover a resiliência dos sistemas agrícolas frente às mudanças climáticas.

Este estudo, portanto, se propôs a caracterizar os benefícios da adubação verde na melhoria da qualidade do solo e na promoção da sustentabilidade agrícola. Para tanto, se debruçou sobre os seguintes objetivos específicos: descrever os efeitos da adubação verde na

estrutura e fertilidade do solo; caracterizar a capacidade da adubação verde em aumentar a biomassa e a atividade microbiológica do solo; investigar a eficácia da adubação verde na ciclagem de nutrientes e na supressão de ervas daninhas; e identificar as melhores práticas e espécies vegetais para a adubação verde em diferentes contextos agroecológicos.

Construindo uma base teórica sólida, esperamos fornecer uma visão abrangente e atualizada sobre como a adubação verde pode ser uma ferramenta essencial para enfrentar os desafios agrícolas do século XXI. Ao promover práticas agrícolas mais sustentáveis, contribuímos não apenas para a conservação ambiental, mas também para a segurança alimentar e o bem-estar das populações rurais e urbanas.

2 METODOLOGIA

Este artigo adotou uma abordagem metodológica baseada na revisão integrativa da literatura, visando sintetizar o conhecimento existente sobre a adubação verde e seus impactos na fertilidade do solo e na conservação ambiental. A revisão integrativa é escolhida por sua capacidade de incluir estudos de diversas metodologias, proporcionando uma visão abrangente e multifacetada sobre o tema.

O problema de pesquisa foi definido com base na questão norteadora: "Como a adubação verde pode contribuir para a melhoria da qualidade do solo e promover a sustentabilidade agrícola e ambiental?"

Para garantir a relevância e a qualidade dos estudos incluídos na revisão, foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: estudos publicados entre 2017 e 2024; artigos revisados por pares, teses, dissertações e relatórios técnicos; publicações em inglês e português; pesquisas que abordam a adubação verde e seus efeitos na qualidade do solo, sustentabilidade agrícola, ciclagem de nutrientes e supressão de ervas daninhas.

Os critérios de exclusão incluíram: artigos de opinião, revisões não sistemáticas e estudos não revisados por pares; estudos fora do período estabelecido; pesquisas não relacionadas diretamente à adubação verde.

A coleta de dados foi realizada em bases de dados acadêmicas reconhecidas, como o PubMed, Google acadêmico e SciELO. A estratégia de busca incluiu termos como "adubação verde", "fertilidade do solo" e "sustentabilidade agrícola" e o operador booleano "and" para combinar os termos de busca de maneira eficaz.

Os estudos identificados foram submetidos a uma triagem inicial por título e resumo. Aqueles que aparentaram relevância foram avaliados integralmente para verificar sua elegibilidade com base nos critérios de inclusão e exclusão.

Os estudos selecionados foram analisados qualitativamente, focando nos seguintes aspectos: objetivos e metodologias dos estudos, principais resultados e conclusões, contribuições para o conhecimento sobre a adubação verde, identificação de lacunas e áreas para futuras pesquisas.

A síntese dos estudos foi apresentada de forma narrativa, organizada em torno dos principais temas emergentes: efeitos da adubação verde na estrutura e fertilidade do solo, impacto na biomassa e atividade microbiológica do solo, eficácia na ciclagem de nutrientes

e supressão de ervas daninhas, práticas recomendadas e espécies vegetais ideais para a adubação verde.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Efeitos da adubação verde na estrutura e fertilidade do solo

A adubação verde tem demonstrado efeitos significativos na melhoria da estrutura física do solo. Estudos recentes indicam que a inclusão de adubos verdes pode melhorar a porosidade do solo, aumentar a agregação e reduzir a compactação. Plantas de cobertura, como leguminosas e gramíneas, contribuem para a formação de agregados estáveis, que são fundamentais para uma boa estrutura do solo. Esses agregados melhoram a infiltração de água, facilitam a penetração das raízes e promovem uma melhor aeração do solo.

Segundo um estudo de Dabo (2019), a utilização de leguminosas como adubos verdes melhora a agregação do solo, devido à exsudação de compostos orgânicos pelas raízes, que atuam como agentes cimentantes dos agregados.

Segundo Pereira et al. (2017), as raízes das plantas de cobertura criam canais no solo que melhoram a infiltração de água e a aeração, o que é essencial para o crescimento saudável das plantas. Esses canais permanecem mesmo após a decomposição das raízes, facilitando a infiltração de água e a circulação de ar no solo. Estudos de Dabo (2019) mostram que solos com adubação verde apresentam menor densidade aparente e maior porosidade, indicando uma redução significativa na compactação.

A porosidade do solo, que se refere ao volume de poros ou espaços vazios no solo, é crucial para a infiltração de água, a troca gasosa e o crescimento das raízes. Plantas de cobertura contribuem para o aumento da porosidade do solo ao deixar resíduos orgânicos na superfície e no perfil do solo, que se decompõem e aumentam o volume de matéria orgânica. A matéria orgânica melhora a estrutura do solo, criando mais espaços porosos. Estudos como o de Carvalho et al. (2020) confirmam que a adubação verde pode aumentar significativamente a macroporosidade do solo, melhorando a capacidade do solo de reter e infiltrar água.

A infiltração de água é essencial para a nutrição das plantas e a prevenção da erosão. A adubação verde melhora a infiltração de água ao reduzir a compactação e aumentar a porosidade do solo. As raízes das plantas de cobertura criam vias naturais para a água penetrar mais profundamente no solo, reduzindo o escoamento superficial e a perda de solo. De acordo com Santos et al. (2021), solos com adubação verde demonstraram taxas de infiltração de água significativamente maiores em comparação com solos sem essa prática, contribuindo para a redução do risco de erosão e a melhoria da eficiência do uso da água.

A cobertura vegetal contínua proporcionada pela adubação verde protege o solo contra a erosão causada pela chuva e pelo vento. As plantas de cobertura atuam como uma barreira física que reduz a velocidade do escoamento da água e protege a superfície do solo da ação direta das gotas de chuva. Estudos de Calegari (2023) mostram que a

adubação verde é eficaz na redução das perdas de solo por erosão, mantendo a camada superficial do solo rica em nutrientes e matéria orgânica.

A adubação verde melhora ainda a agregação do solo, um processo vital para a estabilidade estrutural do solo. Plantas de cobertura, como leguminosas (por exemplo, feijão-guandu e mucuna) e gramíneas (como aveia e centeio), exsudam compostos orgânicos que atuam como agentes cimentantes, promovendo a formação de agregados estáveis. Segundo Santos et al. (2019), esses agregados aumentam a resistência do solo à erosão e melhoram a sua capacidade de reter água e nutrientes. Agregados estáveis também facilitam a penetração das raízes das plantas e a movimentação do ar e da água no solo, essenciais para o crescimento saudável das plantas.

Além disso, a adubação verde contribui significativamente para a fertilidade do solo ao aumentar o teor de matéria orgânica e melhorar a capacidade de retenção de água. A decomposição das plantas de cobertura libera nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, que são facilmente disponíveis para as culturas subsequentes.

Em uma revisão de Wutke (2023), foi observado que a adubação verde com leguminosas, como o feijão-guandu e a mucuna, aumenta os níveis de nitrogênio no solo devido à fixação biológica de nitrogênio. Este nitrogênio é essencial para o crescimento das plantas e pode reduzir a necessidade de fertilizantes sintéticos.

Além disso, a matéria orgânica da adubação verde melhora a estrutura do solo e sua capacidade de retenção de água. Isso é corroborado por estudos como o de Santos et al. (2021), que mostraram que solos tratados com adubação verde apresentaram uma maior capacidade de retenção de água, crucial para a resiliência das culturas em períodos de seca.

A adubação verde tem um impacto positivo significativo na biomassa e na atividade microbiológica do solo. A biomassa microbiana é um indicador chave da saúde do solo, já que os microrganismos são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e pela ciclagem de nutrientes.

De acordo com Souza, Souza e Carvalho (2023), a adubação verde com plantas como aveia e centeio resulta em um aumento substancial na biomassa microbiana. Este aumento é devido à maior quantidade de matéria orgânica disponível para os microrganismos, o que melhora a decomposição e a ciclagem de nutrientes.

Além disso, a adubação verde promove uma maior diversidade microbiana. Estudos como o de Cantanhede et al. (2018) mostraram que a prática de adubação verde aumenta a diversidade de microrganismos benéficos, como fungos micorrízicos e bactérias fixadoras de nitrogênio, que são cruciais para a saúde do solo. Esses microrganismos não apenas ajudam na ciclagem de nutrientes, mas também na supressão de patógenos do solo, promovendo um ambiente mais saudável para o crescimento das plantas.

A adubação verde não só melhora a estrutura e a fertilidade do solo, mas também oferece benefícios adicionais, como a supressão de ervas daninhas e a redução da erosão do solo. Plantas de cobertura densa podem competir eficazmente com ervas daninhas por luz, água e

nutrientes, reduzindo a necessidade de herbicidas químicos.

Conforme relatado por Ferreira et al. (2018), a adubação verde com espécies de crescimento rápido, como a mucuna, pode cobrir rapidamente o solo e suprimir ervas daninhas, proporcionando uma alternativa sustentável aos métodos tradicionais de controle de ervas daninhas.

Além disso, a adubação verde pode reduzir a erosão do solo ao proteger a superfície do solo da ação direta da chuva e do vento. A cobertura vegetal contínua minimiza o escoamento superficial e aumenta a infiltração de água, conforme demonstrado por Calegari (2023).

Portanto, os efeitos da adubação verde na estrutura física do solo são amplamente positivos e bem documentados. A prática contribui para a formação de agregados estáveis, reduz a compactação, aumenta a porosidade, melhora a infiltração de água e protege o solo contra a erosão. Essas melhorias na estrutura do solo são essenciais para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, promovendo solos mais saudáveis, produtivos e resilientes. Assim, a adubação verde se destaca como uma prática agrícola fundamental para enfrentar os desafios da degradação do solo e promover a sustentabilidade ambiental e agrícola.

3.2 IMPACTO NA BIOMASSA E ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA DO SOLO

A adubação verde desempenha um papel crucial no aumento da biomassa do solo, tanto acima quanto abaixo do solo. O uso de plantas de cobertura, como leguminosas (feijão-guandu, mucuna) e gramíneas (aveia, centeio), resulta em um incremento significativo na quantidade de matéria orgânica adicionada ao solo, que, ao se decompor, aumenta a biomassa do solo.

Plantas de cobertura cultivadas como adubos verdes produzem uma quantidade substancial de biomassa vegetal que, quando incorporada ao solo, serve como fonte de matéria orgânica e nutrientes. Segundo Santos et al. (2021), as leguminosas são particularmente eficazes nesse aspecto, pois, além de produzirem alta biomassa, elas fixam nitrogênio atmosférico, enriquecendo o solo com esse nutriente essencial. Essa adição de biomassa melhora a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e nutrientes.

A decomposição da biomassa vegetal de adubos verdes resulta em um aumento direto na biomassa microbiana do solo. Microrganismos do solo, como bactérias e fungos, utilizam a matéria orgânica como fonte de energia e nutrientes. Estudos de Souza, Souza e Carvalho (2023) indicam que solos tratados com adubação verde apresentam níveis significativamente mais altos de biomassa microbiana em comparação com solos não tratados. A biomassa microbiana é um indicador vital da saúde do solo, pois microrganismos desempenham um papel crucial na decomposição de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes.

De acordo com Mercante et al. (2023), a diversidade de espécies de plantas usadas como adubos verdes está diretamente relacionada a uma maior diversidade de comunidades microbianas no solo. Uma maior diversidade microbiana é benéfica porque diferentes microrganismos desempenham várias funções ecológicas,

como a decomposição de matéria orgânica, a fixação de nitrogênio e a supressão de patógenos.

A promoção da biodiversidade microbiana pela adubação verde tem várias consequências positivas para a saúde do solo. Primeiramente, uma comunidade microbiana diversa e ativa é mais eficaz na ciclagem de nutrientes, tornando-os mais disponíveis para as plantas. Segundo Pereira et al. (2017), solos com alta atividade microbiológica têm uma capacidade melhorada de decompor resíduos orgânicos e reciclar nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio.

A adubação verde também ajuda no controle de patógenos do solo. Plantas de cobertura podem exsudar compostos bioativos que suprimem microrganismos patogênicos. Além disso, a presença de uma comunidade microbiana diversa pode competir com patógenos por recursos e espaço, reduzindo sua prevalência. Estudos de Wutke et al. (2023) mostraram que a adubação verde com determinadas leguminosas pode reduzir significativamente a incidência de doenças do solo, melhorando a saúde geral das plantas cultivadas.

A adubação verde está associada a um aumento na atividade enzimática do solo, que é um indicador da atividade microbiológica e da fertilidade do solo. Enzimas do solo, como fosfatases, deidrogenases e ureases, estão envolvidas na decomposição de matéria orgânica e na liberação de nutrientes. Ferreira et al. (2018) destacam que solos com adubação verde mostram uma maior atividade enzimática, indicando uma maior capacidade do solo para suportar processos biológicos essenciais para o crescimento das plantas.

3.3 EFICÁCIA NA CICLAGEM DE NUTRIENTES E SUPRESSÃO DE ERVAS DANINHAS

A adubação verde é uma prática agrícola que oferece significativas vantagens na ciclagem de nutrientes e na supressão de ervas daninhas. Utilizando plantas de cobertura, como leguminosas e gramíneas, os agricultores podem melhorar a fertilidade do solo e controlar ervas daninhas de maneira sustentável e eficiente.

A ciclagem de nutrientes é crucial para a sustentabilidade agrícola, garantindo que os nutrientes essenciais estejam continuamente disponíveis para as culturas. A adubação verde contribui para esse processo de várias maneiras: fixação de Nitrogênio Atmosférico, ciclagem de outros nutrientes, aumento da matéria orgânica, supressão de ervas daninhas, competição por recursos e alelopatia.

As leguminosas, como feijão-guandu e mucuna, possuem uma relação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium*. Essas bactérias convertem o nitrogênio atmosférico em formas que as plantas podem utilizar, como amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). Estudos mostram que a fixação biológica de nitrogênio pelas leguminosas pode substituir a necessidade de fertilizantes nitrogenados químicos, reduzindo custos e impactos ambientais (Oliveira et al., 2017). Essa prática não só aumenta a disponibilidade de nitrogênio para a cultura principal, mas também melhora a fertilidade geral do solo a longo prazo (Aita; Giacomini e Ceretta, 2019).

Além do nitrogênio, as plantas de cobertura ajudam na ciclagem de fósforo, potássio, cálcio e

magnésio. A decomposição da biomassa das plantas de cobertura libera esses nutrientes de volta ao solo, tornando-os disponíveis para as culturas subsequentes. De acordo com Peche Filho, Ambrosano e Luz (2023), a adubação verde com espécies de gramíneas pode melhorar significativamente a disponibilidade de fósforo e potássio no solo, promovendo um crescimento mais saudável das plantas.

A adubação verde contribui para o aumento da matéria orgânica no solo, o que é essencial para a ciclagem de nutrientes. A matéria orgânica melhora a capacidade do solo de reter água e nutrientes, promove a atividade microbiana e aumenta a estabilidade da estrutura do solo (Ferreira et al., 2018). Solos ricos em matéria orgânica são mais resilientes e produtivos, suportando melhor o crescimento das culturas.

A capacidade das plantas de adubação verde em suprimir o crescimento de ervas daninhas é uma vantagem adicional dessa prática, reduzindo a necessidade de herbicidas químicos e melhorando a competição das culturas por recursos.

Plantas de cobertura competem diretamente com ervas daninhas por luz, água e nutrientes. O crescimento denso das plantas de cobertura cria uma sombra que impede a germinação e o crescimento das ervas daninhas. Pesquisas indicam que a adubação verde com plantas como centeio e aveia pode reduzir significativamente a biomassa de ervas daninhas, melhorando o desempenho das culturas principais (Lima Filho, 2023).

Algumas plantas de adubação verde possuem propriedades alelopáticas, liberando compostos químicos que inibem a germinação e o crescimento de ervas daninhas. Espécies como mucuna e tremoço liberam substâncias que podem suprimir o crescimento de espécies invasoras, proporcionando um controle biológico eficiente das ervas daninhas (Souza, Souza e Carvalho, 2023). Essas propriedades alelopáticas reduzem a necessidade de controle químico de ervas daninhas, beneficiando o ambiente e a saúde do solo.

A adubação verde melhora a estrutura do solo, o que pode indiretamente reduzir a prevalência de ervas daninhas. Solos bem estruturados e com alta matéria orgânica têm menor compactação, o que dificulta a germinação e o crescimento de ervas daninhas. Segundo Souza, Souza e Carvalho (2018), solos com boa estrutura física são menos propensos à invasão de ervas daninhas, beneficiando as culturas desejadas.

3.4 PRÁTICAS RECOMENDADAS E ESPÉCIES VEGETAIS IDEAIS

A implementação eficaz da adubação verde envolve uma série de práticas recomendadas, que incluem o momento adequado de plantio e incorporação, bem como os métodos de manejo da biomassa. Essas práticas são cruciais para maximizar os benefícios da adubação verde na melhoria da fertilidade do solo e na sustentabilidade agrícola.

O momento ideal para plantar adubos verdes depende das condições climáticas e do ciclo das culturas principais. Em geral, os adubos verdes devem ser plantados durante a entressafra, quando o solo está desocupado. Plantar adubos verdes no início da estação chuvosa pode

assegurar uma boa germinação e crescimento, proporcionando uma cobertura vegetal densa que protege o solo e suprime as ervas daninhas (Carvalho et al., 2018).

A incorporação da biomassa no solo deve ser realizada no momento adequado para maximizar a decomposição e a liberação de nutrientes. Normalmente, os adubos verdes são incorporados ao solo antes da floração, quando a quantidade de biomassa e nutrientes é máxima. Incorporar as plantas quando ainda estão verdes pode acelerar a decomposição e a mineralização dos nutrientes, melhorando a fertilidade do solo para as culturas subsequentes (Peché Filho, Ambrosano e Luz, 2023).

Métodos mecânicos, como aração e gradagem, são frequentemente utilizados para incorporar a biomassa dos adubos verdes no solo. No entanto, práticas de manejo conservacionistas, como o plantio direto, onde a biomassa é deixada na superfície do solo como cobertura morta, também são eficazes. Essas práticas ajudam a manter a estrutura do solo e a reduzir a erosão (Lima Filho, 2023).

A escolha das espécies vegetais para adubação verde deve considerar diversos fatores, incluindo o crescimento rápido, a capacidade de fixação de nitrogênio, a resistência a pragas e doenças, e a adaptabilidade às condições agroecológicas específicas.

Dentre as leguminosas, temos: feijão-guandu (*Cajanus cajan*); mucuna (*Mucuna pruriens*) e tremoço (*Lupinus spp.*). No grupo das gramíneas podemos destacar: aveia (*Avena sativa*); centeio (*Secale cereale*) e milheto (*Pennisetum glaucum*).

O feijão-guandu (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa de crescimento rápido, conhecida por sua capacidade de fixar grandes quantidades de nitrogênio atmosférico. Além de melhorar a fertilidade do solo, o feijão-guandu é resistente a pragas e doenças, tornando-se uma escolha ideal para diversas condições agroecológicas (Santos et al., 2021). No grupo das crucíferas, temos o Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*) e a Mostarda (*Brassica spp.*).

A mucuna (*Mucuna pruriens*) é outra leguminosa eficiente na fixação de nitrogênio, a mucuna também é reconhecida por suas propriedades alelopáticas, que ajudam a suprimir ervas daninhas. É especialmente útil em solos degradados, onde pode rapidamente melhorar a estrutura e a fertilidade do solo (Abranches et al., 2021).

Os tremoços são leguminosas que não apenas fixam nitrogênio, mas também melhoram a estrutura do solo devido à sua profundidade de raiz. São especialmente úteis em solos arenosos ou pobres em nutrientes (Mercante et al., 2020).

A aveia é uma gramínea de rápido crescimento que fornece uma cobertura densa, suprimindo eficazmente as ervas daninhas. Também contribui para a melhoria da estrutura do solo e aumenta a matéria orgânica (Wutke, 2018).

O centeio é uma gramínea resistente ao frio, tornando-se ideal para uso em regiões temperadas. Seu sistema radicular profundo ajuda a melhorar a estrutura do solo e a reduzir a compactação. É eficaz na ciclagem de nutrientes e na supressão de ervas daninhas (Pereira, 2017).

O milheto é uma gramínea de crescimento rápido e alta produção de biomassa, adequada para condições quentes e secas. Ajuda a prevenir a erosão do solo e melhora a sua estrutura física (Boss et al., 2017).

O Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*) é conhecido por seu crescimento rápido e raízes profundas, o nabo forrageiro é eficaz na descompactação do solo. Suas propriedades alelopáticas também ajudam na supressão de ervas daninhas (Souza, Souza e Carvalho, 2023).

As plantas de mostarda não apenas melhoram a estrutura do solo, mas também possuem propriedades biofumigantes que podem suprimir patógenos do solo e ervas daninhas (Santos; Abboud e Carmo, 2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adubação verde se apresenta como uma prática agrícola sustentável com múltiplos benefícios para a fertilidade do solo e a conservação ambiental. Ao longo deste estudo, foi possível sintetizar as principais contribuições desta técnica, evidenciando seus impactos positivos na estrutura física do solo, na biomassa e atividade microbiana, na ciclagem de nutrientes e na supressão de ervas daninhas.

Os resultados apontam que a adubação verde, através da utilização de plantas de cobertura como leguminosas e gramíneas, melhora significativamente a estrutura do solo, aumentando sua porosidade, agregação e capacidade de infiltração de água. Essas melhorias estruturais são essenciais para a promoção de um solo saudável, que suporta o crescimento vigoroso das plantas e reduz os riscos de erosão.

A biomassa adicionada pelas plantas de cobertura não só enriquece o solo com matéria orgânica, mas também estimula a atividade microbiana, fundamental para a ciclagem de nutrientes. A maior diversidade e atividade dos microrganismos do solo contribuem para a decomposição eficiente da matéria orgânica, tornando os nutrientes mais disponíveis para as culturas subsequentes e reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos.

Ademais, a adubação verde demonstra eficácia na ciclagem de nutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio, elementos essenciais para o crescimento das plantas. As leguminosas, através da fixação biológica de nitrogênio, desempenham um papel crucial, reduzindo a dependência de insumos externos e promovendo uma agricultura mais autossustentável.

A capacidade das plantas de cobertura em suprimir ervas daninhas também é destacada como um benefício significativo da adubação verde. Esta prática reduz a necessidade de herbicidas químicos, contribuindo para a proteção do meio ambiente e para a saúde do solo. Espécies como mucuna e tremoço, com propriedades alelopáticas, oferecem uma alternativa natural e eficiente no controle de plantas invasoras.

Diante das evidências apresentadas, fica claro que a adubação verde não só melhora a produtividade agrícola, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental. A adoção dessa prática pode levar a uma agricultura mais resiliente, capaz de enfrentar os desafios da degradação do solo e das mudanças climáticas.

É essencial que agricultores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas incentivem e disseminem o uso da adubação verde, adaptando as práticas às condições locais e às necessidades específicas das culturas. Investir em pesquisas contínuas e na capacitação dos produtores é fundamental para maximizar

os benefícios dessa técnica e promover a sustentabilidade agrícola em larga escala.

Em conclusão, a adubação verde representa uma estratégia eficaz e sustentável para a melhoria da fertilidade do solo e a conservação ambiental, reforçando a necessidade de sua ampla adoção como parte integrante dos sistemas agrícolas modernos.

REFERÊNCIAS

- ABRANCHES, M. O.; et al. Contribuição da adubação verde nas características químicas, físicas e biológicas do solo e sua influência na nutrição de hortaliças. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e7410716351, 2021.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A. **Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes**. In: LIMA FILHO, O. F. (org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- BOSS, R. et al. Uso do milheto como planta forrageira: Revisão de literatura. **Anais... XXII Seminário Interinstitucional de ensino, pesquisa e extensão: redes e território**. Unicruz, 2017.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boas práticas agrícolas para a produção de alimentos seguros: Café, Feijão, Tomate, Morango e Hortaliças**. Brasília: Mapa/SDI, 2022.
- CALEGARI, A. **Benefícios do uso de adubos verdes como garantia de sustentabilidade e aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas**. In: LIMA FILHO, O. F. (org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- CANTANHEDE, J. D., et al. Adubos verdes na supressão de plantas espontâneas. **Anais... VI CLAA, X CBA e V SEMDF**, v. 13, n. 1, 2018.
- CARVALHO, C. A., et al. Atributos físicos em solos cultivados com plantas de cobertura. **Scientia Naturalis**, v. 2, n. 2, p. 38-41, 2020.
- DABO, I. Crescimento, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes de plantas leguminosas utilizadas como adubo verde. 2019. 17 f. **TCC (Graduação) - Curso de Agronomia**, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Redenção-Ceara, 2019.
- FERREIRA, E. D. M., et al. Área de preservação permanente em processo de revegetação com espécies arbóreas e adubos verdes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 243-252, 2018.
- MARTINELLI, S. S.; CAVALLI, S. B. Alimentação saudável e sustentável: uma revisão narrativa sobre desafios e perspectivas. **Ciênc. saúde coletiva**, v. 24, n. 11, nov., 2019.
- MERCANTE, F. M.; et al. **Fixação biológica de nitrogênio em adubos verdes**. In: LIMA FILHO, O. F. (org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório da ONU: Práticas agrícolas e alimentares insustentáveis colocam Sistemas em ponto de ruptura**. UN News, 2021. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2021/12/1773222>. Acesso em: 28 maio 2024.
- OLIVEIRA, K. J. B., et al. Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 23-33, 2017.
- PECHE FILHO, A.; AMBROSANO, E. J.; LUZ, P. H. C. **Semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes**. In: LIMA FILHO, O. F. (org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- PEREIRA, A. P.; et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de ciências agrárias**, p. 799-807, 2017.
- SANTOS, C. A.; ABOUD, A. C. S.; CARMO, M. G. F. Biofumigação do Solo com Espécies da Família Brassicaceae: Uma Tecnologia em Potencial. **Informe Técnico** [recurso eletrônico]. Rio de Janeiro: PPGF, UFRRJ, v. 1, n. 6, 2021.
- SANTOS, J. J. Potencial de leguminosas para adubação verde nas condições edafoclimáticas da fazenda rio manso em couro de Magalhães de Minas. **Brazilian Journal of Development**, v.7, n.9, p. 92319-92331, sep., 2021.
- SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; CARVALHO, J. E. B. **Contribuição da adubação verde para os atributos físicos do solo**. In: LIMA FILHO, O. F. (org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.
- WUTKE, E. B.; et al. (coord.). **Bancos comunitários de sementes de adubos verdes: informações técnicas**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2007.
- WUTKE, E. B.; et al. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para uso. In: LIMA FILHO, O. F. (org.). Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática. 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF: Embrapa, 2023.